

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ТРУДЫ
ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ –
МИРОВОЙ ЦЕНТР ДАННЫХ»



АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Под редакцией

канд. физ.-мат. наук В.Н. РАЗУВАЕВА,

д-ра геогр. наук Б.Г. ШЕРСТЮКОВА

ОБНИНСК
2010

УДК 551.583

Сборник посвящен вопросам анализа изменений климата по данным инструментальных наблюдений.

Приведены оценки точности прогноза климата на территории России по некоторым зарубежным физико-математическим моделям и по статистической модели изменений климата, разработанной в ГУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Ряд статей посвящен анализу регионального климата и влиянию климатических условий на жизнедеятельность человека. Рассматриваются особенности климата и его изменений по отдельным метеорологическим показателям (влажность воздуха, атмосферная мгла, пыльные бури, волны тепла и холода, температура почвогрунтов, гидрологические явления).

На основе последних данных метеорологических наблюдений описаны новые тенденции в изменениях современного климата в Северном полушарии.

В статьях использованы данные наблюдений на метеорологических и аэрологических станциях и данные реанализов.

Сборник рассчитан на специалистов в области климатологии.

ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЕСНАМ4, НАДСМ3 И CGCM2 ПО ДАННЫМ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Общие сведения о физико-математических моделях климата и проблемы моделирования

Конечной целью теории климата является описание текущих и предсказание будущих изменений климата. Прогноз предстоящих изменений климата обычно выполняется на основе глобальных численных климатических моделей, каждая из которых представляет собой систему уравнений, описывающих взаимодействия внутри-климатической системы с одним внешним параметром – концентрацией углекислого газа в атмосфере. Таким образом, при построении моделей проблема сводится к прогнозу изменений климата, вызванных антропогенной деятельностью [2]. Предполагается наличие антропогенной составляющей в повышении концентрации CO_2 в атмосфере, приводящей к усилению парникового эффекта. Модели должны подтвердить или опровергнуть обусловленность современного глобального потепления изменениями антропогенной составляющей накопления в атмосфере углекислого газа. Они призваны показать, достаточно ли тех антропогенных изменений концентрации CO_2 , которые происходят, для наблюдаемых изменений климата. Результаты, полученные по разным моделям, трактуются как подтверждение гипотезы об антропогенном глобальном потеплении в последние десятилетия за счет усиления парникового эффекта из-за антропогенного повышения концентрации CO_2 в атмосфере.

Вообще, главным парниковым газом в атмосфере является водяной пар, и повышение влажности атмосферы тоже приводит к потеплению. Однако экспериментально на основе анализа эмпирических данных по глобальной сети метеорологических станций установлено [6,8], что и в сухой безоблачной атмосфере наблюдается потепление в последние десятилетия. Это является подтверждением усиления парникового эффекта CO_2 , но не объясняет происхождение дополнительного CO_2 в атмосфере. Возможны

три варианта: а) потепление климата является следствием антропогенного увеличения концентрации CO_2 в атмосфере; б) потепление климата является фазой роста естественных колебаний климата, а увеличение концентрации CO_2 является следствием нагревания океана и выделения из него большего, чем раньше, количества CO_2 ; в) два процесса происходят одновременно, изменения климата имеют две составляющие – антропогенную и естественную. Последнее представляется наиболее правдоподобным, возникает только вопрос о достоверности моделей в части чувствительности климатической системы к антропогенной составляющей роста концентрации CO_2 .

Несмотря на огромные усилия и определенные успехи в моделировании современного климата, как отмечено в работе [3], фундаментальный вопрос – какова чувствительность климатической системы к малым внешним воздействиям – остается до настоящего времени практически открытым.

Приведенные ниже рассуждения лишь в малой степени отражают сложность проблемы.

При повышении концентрации CO_2 и нарушениях сложившегося радиационного баланса возникают изменения в общей циркуляции атмосферы и в обмене теплом и влагой между отдельными составляющими климатической системы. В результате этого на региональном уровне может возникать как потепление в одних регионах, так и похолодание в других. Инерционность процессов и обратные связи в климатической системе приводят к возникновению дополнительных многолетних колебаний температуры воздуха, которые создают в каждом регионе чередования во времени волн тепла и холода разной длительности от нескольких месяцев до нескольких лет.

Численные модели описывают климатическую систему, которая включает атмосферу, океан, сушу, криосферу и биоту. Климатическая модель должна воспроизводить все важные характеристики ансамбля состояний реальной климатической системы.

Для настройки моделей и оценки достоверности их работы применяют сравнение модельных расчетов с результатами инструментальных наблюдений прошлого и текущего климата. Предполагается, что если модель правильно описывает климатические особенности прошлого, то и в будущем, при новых входных условиях, климат будет описан правильно. В радиационном блоке

моделей задается концентрация парникового газа и содержание аэрозолей в атмосфере антропогенного происхождения. Их влияние на температуру атмосферы разнонаправлены и согласуются коэффициентами с учетом чувствительности климатической системы к каждому из них. Строго говоря, улучшение согласованности модели с наблюдениями может быть случайным, так как ни чувствительность климата к парниковым газам, ни ослабляющий эффект аэрозолей, озона и вулканической пыли неизвестны. Согласие может достигаться, если ошибки в чувствительности к парниковым газам компенсируются в модели ошибками в ослаблении аэрозольными частицами. При таком сочетании ошибок можно добиться хорошего согласия модельных и фактических данных в прошлом, но не известно, что произойдет в будущем, когда соотношение CO_2 и аэрозолей изменится и ошибки разбалансируются.

В работе [4] согласование (настройка) модельных и наблюдаемых данных называется в некотором смысле подгонкой. Это было бы полностью справедливо, если бы не выполнялись другие оценки адекватности моделей. Для того чтобы настройка модели не была просто подгонкой, существует проверка модели. Коэффициентами чувствительности моделей добиваются согласия в многолетних изменениях модельных и фактических значений средней глобальной температуры, а проверкой служит точность описания моделью региональных особенностей изменения климатических характеристик. Если все факторы климата в модели учтены и коэффициенты чувствительности подобраны правильно, то модель должна правильно отражать изменения не только среднего глобального климата, но и региональные особенности. По точности описания регионального климата можно судить о качестве модели и о применимости ее для прогностических оценок на предстоящие десятилетия.

Сравнения модельных и фактических данных проводились разными авторами неоднократно, при этом если модель плохо согласуется с фактическим климатом по точкам метеорологических станций или в узлах географической сетки, то поиски согласия искали в укрупнении районов осреднения модельных данных. И действительно, если пространственное осреднение модельных данных делать по регионам, близким по площади к Европейской территории России, то ошибки моделей уменьшаются. Но такой путь не дает новой информации о качестве модельных прогнозов, так как, увеличивая площадь осреднения, мы все ближе подходим

к глобальной или полушарной температуре, на основе которой модель настраивалась методом подбора коэффициентов. В пределе можно дойти до осреднения по полушарию и добиться идеального совпадения модельной и фактической полушарной температуры, но это не будет оценкой качества модели.

В настоящей работе исследуются ошибки моделей при описании климатических характеристик на территории России за 1990–2007 годы на основе сравнения модельных и фактических данных. Следует учитывать, что за рассмотренный период модели работали с использованием фактических данных о концентрации CO_2 в атмосфере. При модельных расчетах на будущее необходим еще прогноз изменения концентрации CO_2 и аэрозолей.

Эмиссия парниковых газов и аэрозолей зависит от путей технического развития человечества. Ранее предлагалось около 40 равновероятных сценариев развития общества и тождественных с ними эмиссий парниковых газов. В последнее время, обычно, выделяют четыре основных варианта сценариев, связанных с четырьмя вариантами эмиссии парниковых газов. Сценарии именуются B1, B2, A1 и A2. [7]. Согласно сценариям, диапазон эмиссии парниковых газов к 2100 г. охватывает варианты от уменьшения на 4% (вариант B1) до увеличения на 320% (вариант A2) по сравнению с уровнем 2000 г. Вариант A2 – это вариант на случай, если общество не будет принимать мер по уменьшению эмиссии газов.

В третьем сообщении Межправительственной комиссии по изменению климата предложено для моделирования климата использовать два сценария эмиссии парниковых газов – A2 и B2. Заметим, что в первой половине XXI века различия в сценариях B2 и A2 незначительны.

Так как в моделях не вполне ясной остается чувствительность климата к изменению парникового эффекта, то различают три уровня возможной климатической чувствительности: низкий, средний и высокий. Комбинируя эти три варианта чувствительности с четырьмя вариантами эмиссии парниковых газов, получают диапазон будущего изменения климата от B1-low (сценарий с низким уровнем эмиссии и низкой чувствительностью) до A2-high (сценарий с высоким уровнем эмиссии и высокой чувствительностью). Модели показывают, что изменения атмосферной циркуляции приводят к различным изменениям температуры по регионам.

Наиболее реалистичные сценарии изменения климата дают глобальные модели климата, объединенные с океаническими моделями, они построены на основе математического описания глобальных атмосферных физических процессов. Далее рассмотрим три наиболее полных модели: CGCM2, HadCM3 и ECHAM4. Каждая из моделей атмосферы включает модель океана. Глобальные модели работают на мощных суперкомпьютерах и требуют больших ресурсов. Вычислительная мощность компьютеров остается одним из серьезных ограничений в работе моделей. Но представляется, что главной проблемой всех моделей является неполное соответствие систем уравнений моделей и эмпирических коэффициентов в них реальным физическим процессам в атмосфере.

Изменяющаяся облачность создает значительно большие эффекты в изменениях климата, чем парниковые газы, однако облачность воспроизводится моделями очень плохо. Это вносит существенные погрешности в результаты работы численных моделей. При стыковке океанического и атмосферного блоков в модели возникают большие погрешности и остается много нерешенных задач. Соотношение теплоемкости атмосферы и взаимодействующего с ней слоя океана таково, что малейшие неточности в моделировании океанических процессов приводят к серьезным ошибкам в описании атмосферных процессов. А толщина слоя взаимодействия океана с атмосферой изменяется [8], вместе с ней изменяются инерционность и теплоемкость слоя взаимодействия, изменяются потоки тепла на границе атмосфера – океан, это может быть дополнительной составляющей изменений климата. В моделях это не учтено.

Кроме того, существующие численные модели не учитывают внешних меняющихся факторов, таких как циклические возмущения орбитального движения и осевого вращения Земли, изменения солнечной активности, взаимодействия отдельных элементов климатической системы с межпланетными магнитными полями. Перечисленные факторы являются дискуссионными, но не отвергнутыми.

Парниковые газы задерживают уходящее излучение Земли. От прогноза их концентрации зависит прогноз температуры воздуха планеты. Например, в модельных экспериментах HadCM для предсказания будущего климата принято, что концентрация парни-

ковых газов будет увеличиваться на 1 % в год (то есть больше, чем наблюдаемое в настоящее время 0,7 % увеличение). Если использовать только этот фактор, то модель предсказывает глобальное нагревание на 0,3 °C за десятилетие с самым большим нагреванием в высоких северных широтах зимой и небольшими изменениями в северной Атлантике и южных океанах. При этом увеличится количество осадков в высоких северных широтах и в областях с летним муссоном. Однако появятся также области и уменьшенного количества осадков, например, летом в южной Европе.

Известно, что приток солнечной радиации ослабляют аэрозоли в атмосфере и этим аэрозоли способствуют похолоданию. Если в модели дополнительно учитывать рост аэрозолей (диоксида серы), тогда глобальное потепление предсказывается на 0,2 °C в десятилетие, а в последней половине XXI века, когда эмиссия серы, как прогнозируется, стабилизируется, потепление будет 0,3 °C за десятилетие.

В настоящей работе выполнена оценка точности упомянутых трех климатических моделей для описания температуры воздуха в точках с географическими координатами 1 612 метеорологических станций России.

Все рассмотренные модели полные, т.е. атмосферная модель работает совместно с океанической. Во всех моделях в работе использовался наиболее жесткий из возможных вариантов накопления CO₂ – сценарий A2, заметим, что на интервале до 2050 года он мало отличается от сценария B2.

Оценки точности модельных значений температуры воздуха по данным на территории России

Погодичные модельные значения температуры весьма условны. Модели предназначены для воспроизведения климата, они должны правильно описывать годовой ход температуры и ее многолетние тренды по месяцам, поэтому оценивать точность моделей можно только по некоторым средним многолетним значениям. Далее приводятся оценки точности восстановления температуры воздуха на станциях России по моделям CGCM2, HadCM3 и ECHAM4/OPYC за 1990–2007 годы.

Для сравнения привлекаются фактические данные о температуре на станциях России. По каждой станции, по данным наблюдений за 18 лет, были вычислены средние значения температуры по каждому месяцу года. То есть получен средний многолетний годовой ход фактической температуры по месяцам.

Данные численных моделей имеются в узлах регулярной географической сетки. Географическая сетка в разных численных моделях различна, поэтому для сравнения модельных значений с данными наблюдений значения каждой модели пересчитывались в географические точки с координатами метеорологических станций. Пространственная интерполяция проводилась линейно по данным каждой исходной модели в четырех узлах географической сетки, ближайших к географической точке станции.

Далее по вычисленным значениям численных моделей в узлах метеорологических станций были вычислены средние модельные значения за те же 18 лет по месяцам. Разности между модельными многолетними средними значениями температуры и аналогичными средними значениями температуры, полученными из наблюдений на станциях, характеризуют ошибки моделей в географических координатах станции. Эти ошибки представлены далее на картах за январь и июль.

Из рисунков 1–3 видно, что у каждой из трех привлеченных численных моделей даже многолетние средние значения плохо воспроизводят реальные многолетние средние температуры, характеризующие годовой ход. Ошибки у всех моделей разные по территории России.

В январе модель CGCM2 занижает температуру в Европе и в Сибири на 3–8 °C и более и завышает на Дальнем Востоке на 3–8 °C. Модель ECHAM4 в январе почти на всей России завышает температуру на величину ошибки до 3–6 °C. А модель HadCM3 преимущественно занижает температуру января на 3–8 °C и более.

В июле модели CGCM2 и HadCM3 преимущественно занижают температуру, а модель ECHAM4 на Европейской части России, в Западной Сибири и в северной половине Восточной Сибири завышают температуру, а на остальной части – занижают (рис. 4–6).

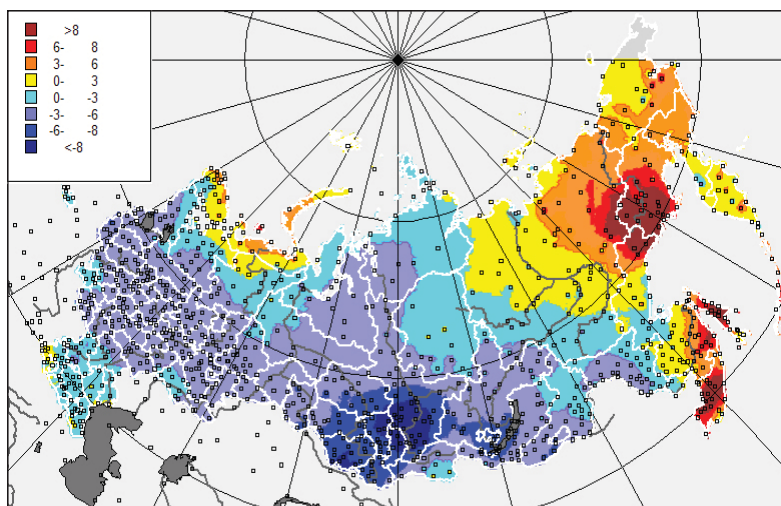


Рис.1. Ошибки ($^{\circ}\text{C}$) описания среднего многолетнего годового хода среднемесячной температуры за 1990–2007 годы по модели CGCM2. Январь

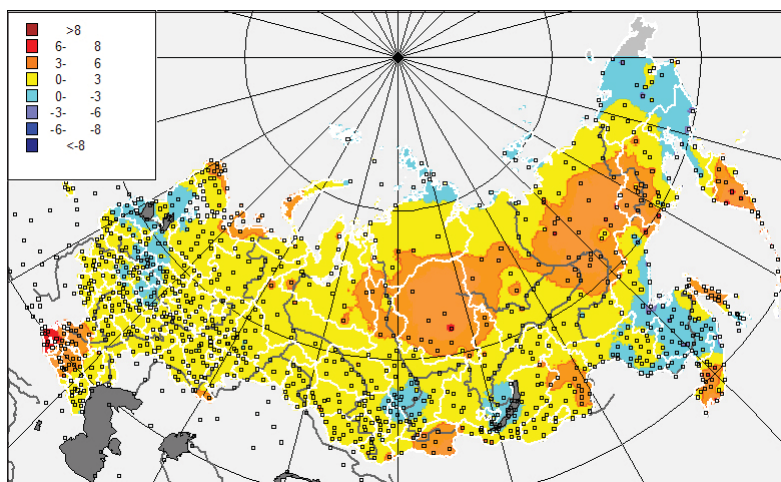


Рис.2. Ошибки ($^{\circ}\text{C}$) описания среднего многолетнего годового хода среднемесячной температуры за 1990–2007 годы по модели ECHAM4. Январь

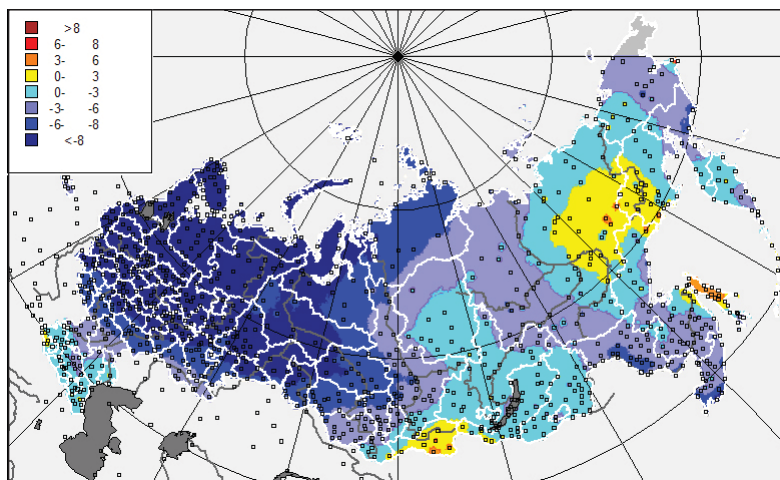


Рис.3. Ошибки ($^{\circ}\text{C}$) описания среднего многолетнего годового хода среднемесячной температуры за 1990–2007 годы по модели HadCM3. Январь

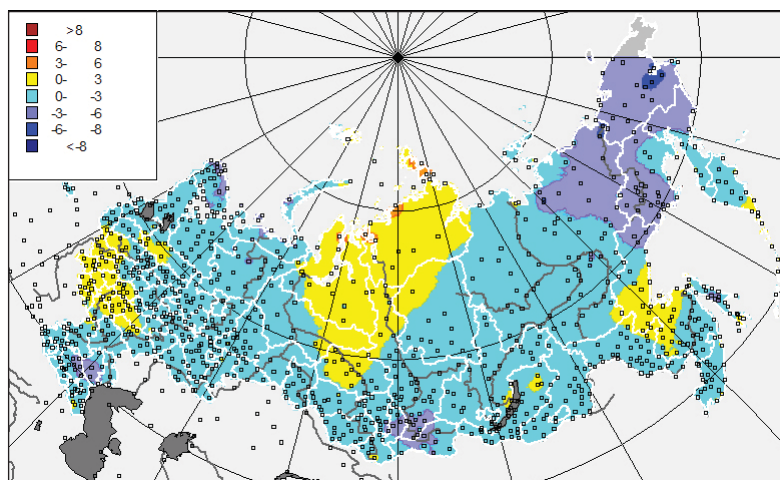


Рис.4. Ошибки ($^{\circ}\text{C}$) описания среднего многолетнего годового хода среднемесячной температуры за 1990–2007 годы по модели CGCM2. Июль

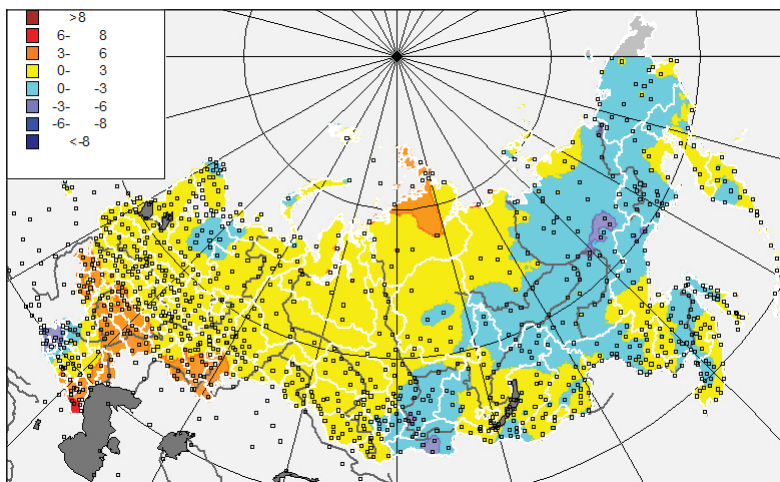


Рис.5. Ошибки (°C) описания среднего многолетнего годового хода среднемесячной температуры за 1990–2007 годы по модели ECHAM4. Июль

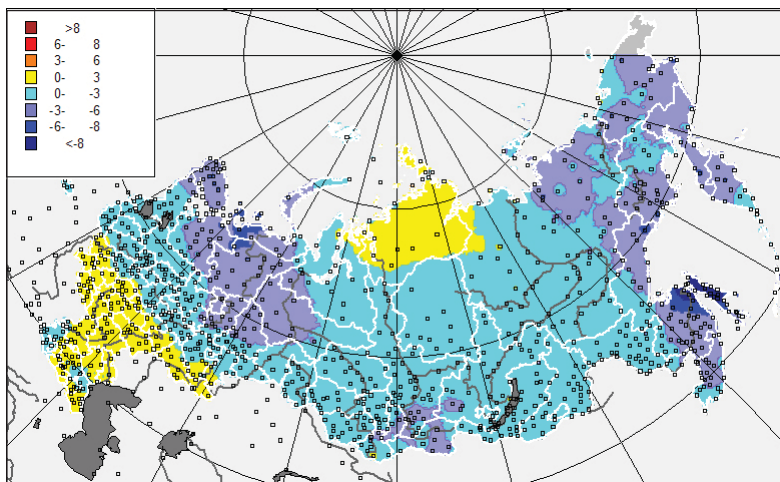


Рис.6. Ошибки (°C) описания среднего многолетнего годового хода среднемесячной температуры за 1990–2007 годы по модели HadCM3. Июль

По ошибкам моделей всех станций России вычислены средние и среднеквадратические ошибки каждой численной модели для каждого отдельного месяца. В табл.1 приведены средние ошибки моделей, а в табл. 2 – среднеквадратические ошибки моделей, вычисленные по всем станциям России отдельно для каждого месяца.

Таблица 1

Средние ошибки описания годового хода среднемесячных значений температуры по моделям CGCM2, ECHAM4и HadCM3 на станциях России за 1990–2007гг. (°C)

Модель	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CGCM2	-2,1	-3,0	-4,4	-6,1	-6,5	-3,8	-1,2	0,9	1,7	2,4	5,0	1,6
ECHAM4	1,5	0,0	-1,6	-1,7	-1,3	-0,2	0,9	1,8	1,5	0,5	1,5	1,9
HadCM3	-5,3	-4,6	-5,1	-4,6	-2,3	-1,0	-1,9	-2,1	-2,1	-3,0	-2,9	-3,7

Таблица 2

Среднеквадратические ошибки описания годового хода температуры воздуха в России по моделям CGCM2, ECHAM4 и HadCM3 за 1990–2007гг. (°C)

Модель	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CGCM2	5,9	5,1	4,6	4,7	4,7	3,7	2,5	2,2	2,1	3,3	4,3	5,6
ECHAM4	3,6	3,4	2,8	2,9	3,2	3,2	2,9	2,6	2,2	2,3	3,1	3,7
HadCM3	4,8	3,8	3,2	2,3	2,2	2,9	3,0	2,7	2,1	2,5	3,5	4,8

Средние ошибки показывают систематический сдвиг модельных значений. По модели CGCM2 в разные месяцы сдвиг составил от -6,5 до +5 °C. По модели ECHAM4 в разные месяцы сдвиг составил – от -1,7 до +1,9 °C. По модели HadCM3 во все месяцы сдвиг отрицательный от -1,0 до -5,3 °C. Средние многолетние значения температуры по месяцам – это по сути нормы за выбранный интервал лет. Модели на территории России – существенный систематический сдвиг при воспроизведении норм текущего климата. Можно ли надеяться, что нормы XXI века они воспроизведут правильно?

Среднеквадратические ошибки модельных значений при воспроизведении многолетнего среднего годового хода по всем месяцам более 2 °C, и в некоторые месяцы ошибки составляют от 4 до 5,9 °C. Наименьшие среднеквадратические ошибки дает модель ECHAM4, они составляют от 2,2 до 3,7 °C.

Систематический сдвиг в описании норм и значительные среднеквадратические ошибки при описании среднего многолетнего годового хода вынуждают признать, что модели не описывают реальный климат с необходимой точностью.

Оценки точности обобщенных данных физико-математических моделей (ансамбль моделей). Модель SUM

В ряде работ применяется ансамблевый подход использования физико-математических моделей [5]. Каждая из рассмотренных выше численных моделей (CGCM2, HadCM3 и ECHAM4/OPYC) имеет свои недостатки и преимущества. Ошибки воспроизведения температуры в каждой модели не зависимы между собой и случайны, поэтому осреднение соответствующих данных трех моделей может уменьшить ошибку. Осредненные данные трех моделей CGCM2, HadCM3 и ECHAM4/OPYC далее будем называть данными модели SUM. Оценка ошибки модели SUM проводилась путем сравнения с наблюдениями по данным на метеорологических станциях России. Географическая сетка с данными каждой исходной модели различна, поэтому для получения осредненных данных модели SUM значения каждой исходной модели на первом этапе пересчитывались в географические точки с координатами метеорологических станций, а затем проводилось осреднение в точках станций данных исходных моделей. Осредненные значения составляют далее модельные данные SUM. Пространственная интерполяция проводилась линейно по данным каждой исходной модели в четырех узлах географической сетки, ближайших к географической точке станции.

Далее приводятся оценки точности восстановления температуры воздуха по станциям России по модели SUM за 1990–2007 гг. По каждой станции по данным наблюдений за 18 лет были вычислены средние значения температуры по каждому месяцу года, то есть получен средний многолетний годовое ход температуры. Аналогично по данным модели SUM были вычислены средние модельные значения за те же 18 лет по месяцам. Разности между модельными многолетними средними значениями температуры и аналогичными средними значениями температуры, полученными из наблюдений на станциях, характеризуют ошибки модели в географических координатах станции. На рис.7–8 приведены

результаты сравнения модельных данных SUM с фактическими данными о температуре на метеорологических станциях России (среднеквадратические ошибки) в январе и июле.

Сравнение с аналогичными ошибками каждой отдельной модели, описанными выше, показывает, что ансамбль моделей SUM лучше описывает реальный климат на территории России, чем каждая модель отдельно. Если раньше по исходным моделям CGCM2, HadCM3 и ECHAM4/OPYC ошибки в некоторых районах превышали $\pm 8^\circ\text{C}$, то теперь ошибки модели SUM не превышают $\pm 6^\circ\text{C}$.

В январе (рис. 7) модель SUM завышает температуру на Дальнем Востоке и занижает на остальной части России.

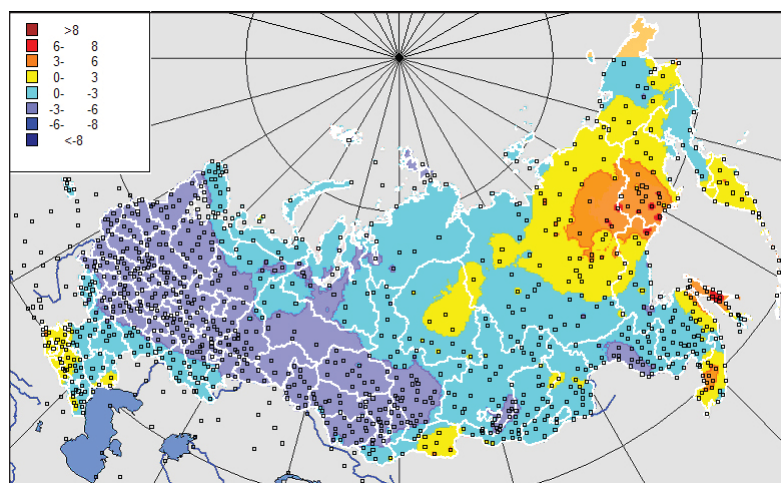


Рис. 7. Ошибки описания среднего многолетнего годового хода температуры за 1990–2007 годы по модели SUM ($^\circ\text{C}$). Январь

Летом (рис. 8) почти на всей территории наблюдается слабое занижение модельных данных температуры по сравнению с фактическими данными.

Среднеквадратические ошибки модели SUM, обобщенные по всей территории России, представлены в табл. 3. по всем месяцам. Там же приведены средние ошибки, а также наибольшие положительные и отрицательные невязки модельных и фактических данных. Сравнение данных об ошибках модели SUM (табл. 3) с данными об ошибках исходных моделей CGCM2, HadCM3 и ECHAM4/OPYC

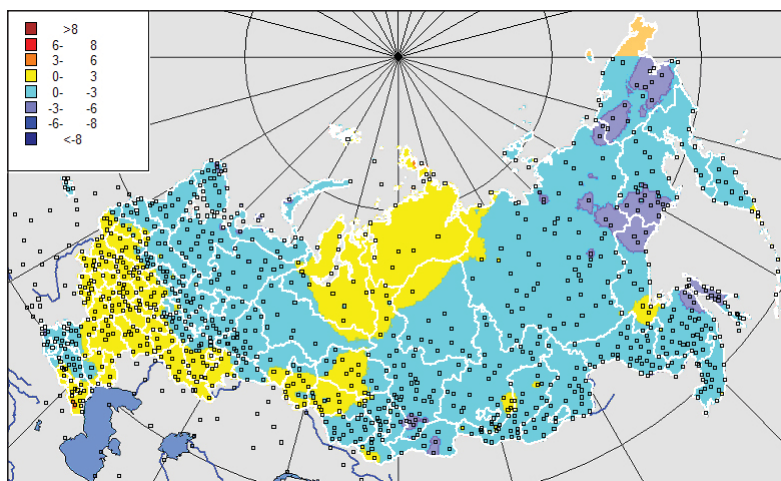


Рис.8. Ошибки описания среднего многолетнего годового хода температуры за 1990–2007 годы по модели SUM (°C). Июль

(табл.1–2) приведено на рис.9. По всем месяцам ошибки обобщенной модели меньше ошибок каждой из отдельной модели. Среднеквадратические ошибки модели SUM и исходных моделей CGCM2, HadCM3 и ECHAM4/OPYC в сравнении показаны на рис.9. Видно, что по всем месяцам ошибки модели SUM меньше ошибок исходных моделей CGCM2, HadCM3 и ECHAM4/OPYC.

Таблица 3

Ошибки описания годового хода среднемесячных значений температуры по модели SUM по станциям России за 1990–2007 гг. (°C)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя ошибка	-1,9	-2,5	-3,6	-4,0	-3,2	-1,6	-0,7	0,3	0,4	0,0	1,3	0,0
Средняя квадратическая ошибка	3,6	3,1	2,5	2,6	2,8	2,7	2,2	1,9	1,6	2,0	2,7	3,6

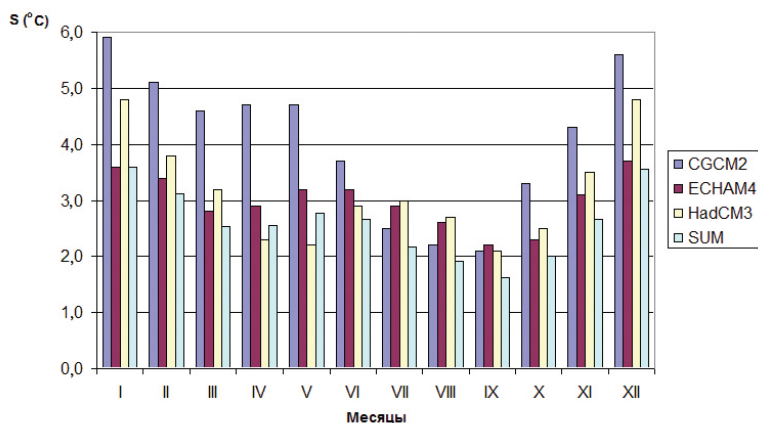


Рис.9. Ошибки описания годового хода температуры за 1990–2007годы (°C). Сравнение среднеквадратических ошибок (S) модели SUM со среднеквадратическими ошибками исходных моделей CGCM2, HadCM3 и ECHAM4/OPYC

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что осреднение данных трех моделей позволяет несколько сгладить ошибки каждой отдельной модели. Поэтому использование средних значений температуры из трех упомянутых моделей является оправданным, но и при этом оценки остаются удовлетворительными.

Аналогичные оценки ошибок были получены в работе [1] по другим моделям. Так, сравнение результатов расчетов по нескольким лучшим динамическим моделям с наблюдениями за 1961–2000 гг. показало [1], что для территории России все модели давали заниженные значения среднегодовых температур на всем 40-летнем периоде. Самое большое смещение было обнаружено в данных японской модели CCSR – более 5 °C в целом по России и более 7 °C по региону средней Сибири. В среднем по ансамблю моделей смещение было стабильно положительным (модельная температура занижена), и среднее отличие от наблюдений изменялось в регионах от 1,0 °C (северо-восток) до 3,2 °C (средняя Сибирь).

Приведенные оценки показывают, что рассмотренные физико-математические модели климата с недопустимой погрешностью

описывают средний многолетний годовой ход и региональные особенности современного климата. Это ставит под сомнение их применимость для оценок будущего состояния климата. Физико-математические модели нуждаются в существенных дополнениях и уточнениях. Для этого необходимы новые и более подробные знания о реальных процессах в климатической системе, необходимы новые более точные количественные оценки их соотношений и взаимодействий, включая обратные связи. Дальнейшее развитие моделей возможно на основе анализа результатов наблюдений за климатической системой и внешними факторами и более полного и адекватного описания процессов в климатической системе.

Модель – это всегда упрощение происходящих процессов. Анализ данных показывает, что многие природные процессы сложнее, чем они описаны в моделях. В этом причина большой погрешности моделей. Многие известные факторы, влияющие на перераспределение тепла и влаги между отдельными элементами климатической системы, в моделях не учитываются или учитываются в упрощенном виде. В работе [2] признается, что помимо того, что в моделях заложено, имеется еще много других важных особенностей климатической системы, которые следовало бы рассмотреть, но, по мнению авторов [2], и без этого на основе глобальных климатических моделей были получены существенные результаты в теории климата. Из этого делается неожиданный вывод о том, что главным средством исследования климатической системы является математическое (численное) моделирование. На самом деле, модели отражают только то, что в них заложено на основе знаний, полученных ранее на основе эмпирических данных.

Полученные оценки результатов моделирования климата показывают, что необходимы целенаправленные исследования эмпирических данных, результаты которых позволят доработать математические модели и привести их в соответствие с реальной атмосферой последних десятилетий. В основе исследований климата должны лежать эмпирические данные, а модели могут служить только проверкой правильного толкования найденных закономерностей, совокупность которых может складываться в теорию климата. Если складывающиеся представления о процессах в климатической системе верны и если их математическое описание в модели будет составлено достаточно точно, то модельные расчеты позволят получить прогноз будущего климата, в этом

смысле модели не имеют альтернативы. Однако в настоящее время физико-математические модели дают неудовлетворительные результаты, и их применимость для прогноза будущего климата вызывает сомнение.

Литература

1. Анисимов О. А., Лобанов В. А., Ренева С. А. Анализ изменений температуры воздуха на территории России и эмпирический прогноз на первую четверть XXI века // Метеорология и гидрология. – № 10. – 2007. – С. 20–30.
2. Дымников В.П., Лыков В.Н., Володин Е.М. Проблемы моделирования климата и его изменений // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – М., – 2006. – Т. 42, № 5. – С. 618–636.
3. Дымников Е.М., Володин В.Я., Галин А.В., Глазун А.С., Грицун Н.А., Дианский В.Н., Лыков В.П. Чувствительность климатической системы к малым внешним воздействиям // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 4. – С. 77–91.
4. Кондратьев К. Я. Изменения глобального климата: реальность, предположения и вымыслы. <http://www.nwicpc.ru/articles.htm>
5. Мелешко В.П., Катцов В.М., Говоркова В.А., Спорышев П.В., Школьник И.М., Шнееров Б.Е. Климат России в XXI веке: Часть 3: Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМIP3 // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 8. – С. 5–19.
6. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. – 246 с.
7. Шерстюков Б.Г. Сценарии тенденций некоторых характеристик климата Москвы в условиях текущего глобального потепления // Труды «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2003. – Вып. 171. – С. 51–78.
8. Шерстюков Б.Г. Парниковый эффект и изменение теплообмена между атмосферой и океаном как факторы современных изменений климата // Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». – Обнинск, 2007. – Вып. 173. – С. 3–37.

**ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА
ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ**

Актуальность метеорологических прогнозов большой длительности и прогнозов изменения климата определяется их исключительной практической значимостью. В статье [1] рассматривались проблемы прогноза изменений климата на основе физико-математических моделей. Современный их уровень развития не позволяет с достаточной точностью описывать региональный климат последних десятилетий и не дает оснований для уверенного прогноза будущего климата. Несмотря на то, что для прогноза изменений климата на много десятилетий нет альтернативы физико-математическим моделям, для прогноза на два-три десятилетия возможны другие подходы. В работе [3] описан метод прогноза климата (температуры воздуха) на два десятилетия статистическим методом на основе выделения и экстраполяции ритмов климатической системы. В настоящей статье приведены оценки точности такой модели.

**1. Важнейшие предпосылки для построения
статистической модели**

Метод выделения ритмов основан на знаниях характерных свойств атмосферных процессов и циркуляции. Одним из таких свойств является квантование состояний атмосферы во времени. Атмосферная циркуляция в своих изменениях часто возвращается к подобным состояниям, но эти изменения происходят не плавно периодически, а, скорее, ритмически. Каждое состояние атмосферной циркуляции с некоторыми общими характерными чертами сохраняется дольше, чем происходит переход к другому состоянию.

Атмосферные преобразования не происходят изолированно, они являются составной частью изменений в климатической системе. Отдельные элементы климатической системы могут накапливать и освобождать огромные количества энергии во временных

масштабах от нескольких дней до столетий (океан и ледники). Атмосфера в сравнении с океаном является менее инертной и менее энергоемкой. Океан можно гипотетически рассматривать как возможный источник долгопериодных ритмов, задающих серии неперіодических возмущений в атмосфере. Даже в результате тесного взаимодействия атмосферы и океана метеорологические характеристики атмосферы не могут содержать циклы, подобные океаническим, уж очень велики различия в теплофизических и гидродинамических свойствах этих двух сред. Атмосфера на океанические возмущения откликается серией своих собственных колебаний, искаженных обратными связями и суперпозицией других возмущений. В результате, под действием внешних долгопериодных воздействий в атмосфере циклически возбуждаются серии неперіодических короткопериодных возмущений. Прогнозировать неперіодические возмущения статистическими методами не удастся, однако если учесть, что каждая последующая серия возмущений подобна предыдущей, то можно прогнозировать сразу всю последовательность возмущений в атмосфере в пределах одного цикла внешних долгопериодных воздействий.

Океан является не единственным источником долгопериодных возмущений атмосферы, нельзя исключать из рассмотрения другие возможные источники ритмов, такие как вариации скорости вращения Земли, вариации скорости орбитального движения Земли, солнечная активность.

Вопрос о внешних факторах требует отдельного изучения и в настоящей работе не рассматривается.

Любое крупномасштабное воздействие на атмосферу прежде всего отражается в изменениях атмосферной циркуляции, следствием которых являются изменения в пространственных перераспределениях тепла и влаги и региональные короткопериодные изменения климата.

Наличие некоторого глобального регулятора региональных состояний атмосферной циркуляции, воздействующего на циркуляцию циклически, служит основой построения прогностической статистической модели изменений климата.

Важные перестройки происходят в течение года. Несмотря на плавный годовой ход среднесуточной инсоляции, общая циркуляция атмосферы имеет свойства сохранять в течение сезона направления основных воздушных потоков и положение центров действия

атмосферы, а затем резко переходить на другой режим, соответствующий следующему естественному синоптическому сезону. Смена сезонов сопровождается изменением географического положения воздушных масс, каждая из которых содержит свои собственные закономерности в возмущениях. Вместе с воздушными массами перемещаются в пространстве присущие им серии возмущений. При этом на фиксированной метеорологической станции с приходом новой воздушной массы кардинально изменяется характер возмущений в атмосфере, вплоть до смены знака.

В следующем году та же метеорологическая станция, как правило, опять оказывается в воздушной массе, присущей данному сезону, а метеорологические приборы возобновляют фиксирование продолжения возмущений, присущих воздушной массе этого сезона. Получается, что в фиксированной географической точке долгопериодные возмущения можно наблюдать только прерывисто (в пределах одного естественного синоптического сезона) по принципу стробоскопа. Изложенные рассуждения на основе известных фактов, ставших классическими, показывают, что атмосферные возмущения имеют особенность квантования по сезонам. Закономерности регионального изменения состояния атмосферы, сложившиеся в одном сезоне, не имеют продолжения в следующем сезоне, но повторяются через год в одноименном сезоне.

Внешние воздействия на атмосферу, такие как геодинамические изменения и изменения солнечной активности, также имеют различную сезонную локализацию. В некоторой заданной точке нельзя во все сезоны ожидать одинаковую реакцию атмосферы на внешнее воздействие.

И даже парниковый эффект в изменениях климата по определению должен иметь большие различия в зависимости от географической широты и сезона года (подробнее в работе [3]).

К сожалению, эти важнейшие особенности долгое время не учитывались при построении прогностических моделей.

Итак, основной причиной, сдерживающей многочисленные попытки построения статистических прогнозов климата, является способность атмосферы изменять свои прогностические связи в разных сезонах и разных циркуляционных эпохах. Указанные свойства атмосферы являются серьезным ограничением применения статистических методов анализа случайных чисел, в которых главным условием надежности оценок является максимально возможная

длина исследуемого ряда в предположении стационарности ряда. Стремление к статистической надежности идет вразрез со свойствами атмосферы. Одним из ограничений построения статистических моделей климата являются квантования свойств атмосферной циркуляции по сезонам, по пространству и ритмически по годам.

В настоящей работе учитывается, что важной особенностью ритмов климатической системы являются сезонные различия в атмосферной циркуляции умеренных и высоких широт, которые создают своеобразный частотный фильтр колебаний. Фильтр выделяет колебания в зависимости от близости их периода к значению, кратному длительности одного года. С учетом этих особенностей формирования ритмов в работе [2] был предложен своеобразный метод их выделения и экстраполяции для целей долгосрочных метеорологических прогнозов, а позднее [3] тот же метод был применен для построения прогностической модели изменений климата. В настоящей работе описаны результаты испытаний авторской статистической модели климата на территории России.

2. Статистическая модель климата (на основе выделения и экстраполяции ритмов) и оценки ее ошибок

В соответствии с изложенными выше основополагающими свойствами развития цикличностей в атмосфере опишем основную суть предлагаемой статистической модели климата.

Модель построена на основе выделения рекуррентной серии возмущений в атмосфере, которая возникает и повторяется под влиянием гипотетических внешних (по отношению к атмосфере) квазипериодических возмущений. Подробно модель описана в [3].

Атмосфера является составной частью климатической системы, в которой все элементы взаимосвязаны. Из всех составляющих климатической системы колебания долговременного масштаба наиболее заметно проявляются в параметрах океана. В системе океан–атмосфера океан служит инерционной средой, медленно накапливающей изменения. Атмосфера же представляет собой нестационарную часть, долгопериодная устойчивость которой поддерживается океаном. Колебательные процессы в океане (с выделением тепла в атмосферу или с его поглощением) носят сложный характер, суммарная картина которых, тоже непросто поддается статистическому моделированию. Но, благодаря большой

инерционности океана по сравнению с атмосферой, в океане существуют квазиритмы более длительные и более устойчивые, чем ритмы в атмосфере. Их моделирование на коротком интервале времени является более легкой задачей. Океанические квазиритмы и их влияние на атмосферу являются основной гипотезой для разработки методов прогноза многолетней изменчивости в атмосфере за пределами известного для атмосферы «предела предсказуемости». Однако если причина многолетней ритмической изменчивости в климатической системе другая, то расчетная часть метода от этого не изменится. Метод основан на выделении квазиритмов независимо от их происхождения.

Далее рассматриваются три варианта модели, отражающие последовательное ее развитие. Критерием качества модели является величина ошибки модели при описании реального климата. Анализ проводился в сравнении с результатами оценок точности ансамбля из трех физико-математических моделей.

В статистической модели прогноз температуры складывается из трех составляющих: годовой ход, аномалии от годового хода и тренд.

Годовой ход температуры вычисляется по фактическим данным за предшествующие 24 года (экспериментально установлено, что 24 года являются оптимальными), и предполагается, что в будущем осредненный многолетний годовой ход сохранится. Аномалии от годового хода прогнозируются на основе выделения скрытых ритмов и их экстраполяции. Уравнение тренда вычисляется на основе данных наблюдений за те же 24 года, и по этому уравнению вычисляется трендовая составляющая на последующие годы. В третьей части статьи будет предложен другой способ учета трендовой составляющей.

Для сопоставимости с оценками точности ансамбля физико-математических моделей, рассмотренных в статье [1], ошибки статистической модели вычислялись также для среднего годового хода за 1990–2007 гг. путем сравнения модельных значений с аналогичными средними многолетними значениями температуры по месяцам, полученным по фактическим данным.

Прогноз месячных значений температуры воздуха по авторской статистической модели был составлен по станциям России за 1990–2007 гг. на основе независимых данных наблюдений по 1989 год. Далее за 1990–2007 гг. был получен средний годовой

ход прогностической температуры по месяцам по каждой станции отдельно:

$$T_i = \sum T_{i,j} / n,$$

где T – значения температуры по модели; i перебирает номера месяцев с 1 (январь) по 12 (декабрь); j перебирает годы с 1990 по 2007.

За те же годы по среднемесячным данным наблюдений был получен фактический многолетний годовой ход температуры по каждой станции:

$$t_i = \sum t_{i,j} / n,$$

где t – температура по наблюдениям по месяцам i .

Разности между модельными и фактическими значениями многолетних среднемесячных средних значений температуры на станции рассматривались как ошибки статистической модели по каждому месяцу i :

$$\Delta t_i = T_i - t_i.$$

На рис.1 точками показаны станции, участвующие в работе и показаны поля разностей между модельными прогностическими и фактическими значениями в январе.

Ранее были получены оценки ошибок обобщенной физико-математической модели (ансамбля из трех зарубежных моделей),

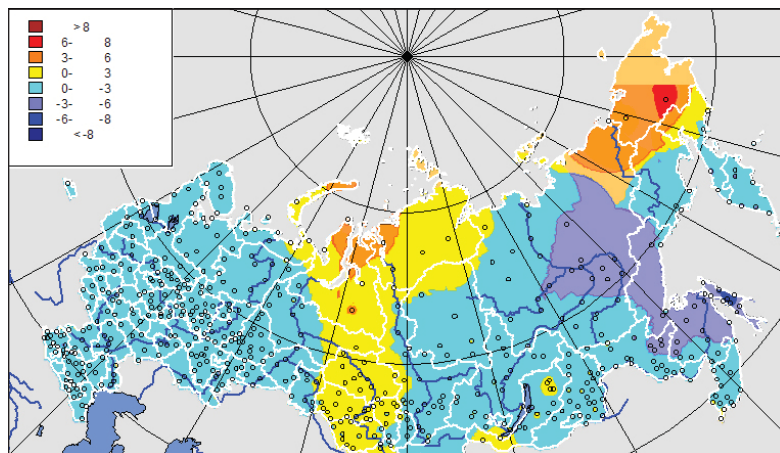


Рис.1. Ошибки описания годового хода температуры за 1990–2007 годы по статистической модели (°C). Январь

они приведены в [1]. Из сравнения карты ошибок ансамбля физико-математических моделей, приведенной на рис.7 в работе [1] и рис.1 настоящей статьи, видно, что площадь, занятая ошибками $>3^{\circ}\text{C}$, значительно меньше на карте ошибок статистической модели по сравнению с картой ошибок физико-математических моделей.

Средние месячные значение из Δt_i по всем станциям России и среднеквадратические отклонения приведены в табл.1.

Т а б л и ц а 1

Ошибки описания годового хода среднемесячных значений температуры за 1990–2007 гг. статистической моделью по станциям России ($^{\circ}\text{C}$)

Ошибка	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя	-1,0	-1,1	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2	0,4	0,5	-0,2	1,0	0,9
Среднеквадратическая	1,7	2,0	1,5	1,6	1,8	1,5	1,5	1,6	1,5	1,5	1,6	1,8

Сравнение ошибок ансамбля упомянутых моделей табл.3 из работы [1] и ошибок статистической модели (табл.1 настоящей статьи) по всем месяцам показывает преимущества статистической модели. Сопоставление таблиц показывает, что средние и среднеквадратические ошибки статистической модели во все месяцы меньше аналогичных ошибок численной модели.

Более выразительно преимущества статистической модели видны на рис.2 и 3, на которых сопоставлены ошибки ансамбля физико-математических моделей и статистической модели. Средние ошибки (рис.2) описания годового хода среднемесячных значений температуры по ансамблю моделей (SUM) показывают существенный сдвиг (занижение) в первой половине года. По статистической модели (St) сдвиг в три раза меньше. Среднеквадратические ошибки (рис.3) статистической модели во все месяцы года меньше аналогичных ошибок ансамбля моделей.

Изначально все модели строились для прогноза изменений климата. Поэтому далее необходимо оценить возможности статистической модели для прогноза погодичных значений температуры с заблаговременностью до 23 лет, чтобы на следующем этапе вычислить прогностические оценки климата до 2030 года.

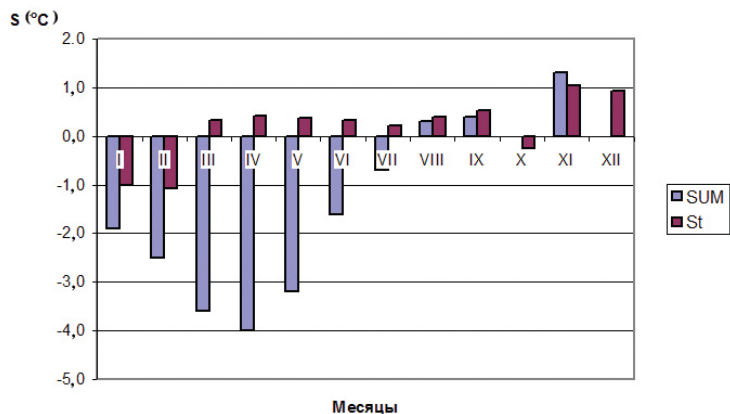


Рис.2. Средние ошибки описания годового хода среднемесячных значений температуры по ансамблю физико-математических моделей (SUM) и по статистической модели (St)

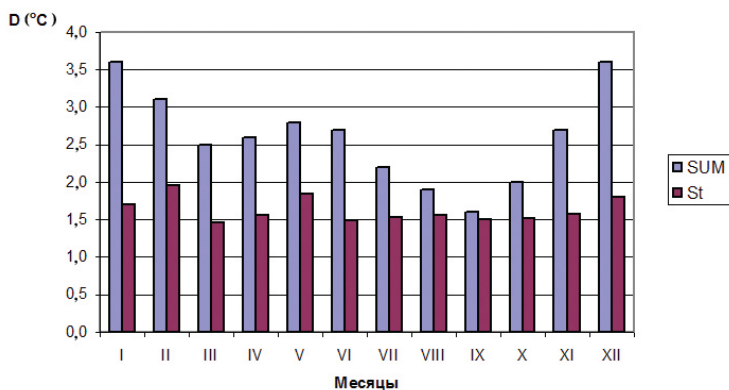


Рис. 3. Среднеквадратические ошибки описания годового хода среднемесячных значений температуры по ансамблю физико-математических моделей (SUM) и по статистической модели (St)

Проверка статистической модели проводилась на основе экспериментов по прогнозированию на 1984–2007 гг. по данным наблюдений за 1960–1983 гг., т.е. проверка проводилась по независимым данным. По модели прогнозировались среднемесячные

значения температуры на каждый год в интервале 1984–2007 гг. по всем станциям России, при этом заблаговременность прогноза получалась от 1 до 23 лет. По прогностическим среднемесячным значениям были вычислены среднегодовые прогностические значения и соответствующие им фактические значения среднегодовой температуры в те же годы. По каждому году на основе данных по всем станциям России вычислялась среднеквадратическая ошибка прогноза. На рис.4 показаны результаты расчетов.

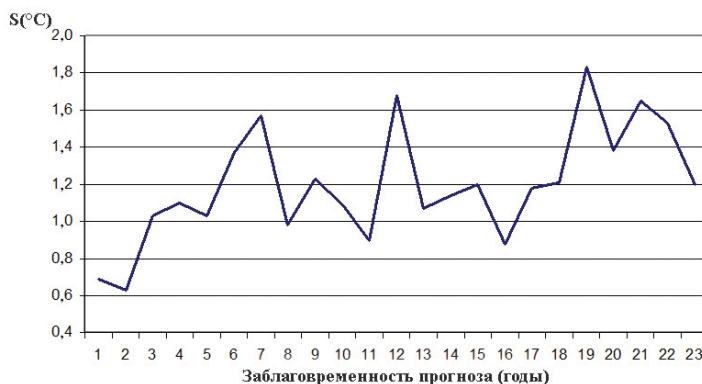


Рис.4. Среднеквадратические ошибки (°C) прогностических оценок по статистической модели St среднегодовой температуры воздуха при различной заблаговременности расчетов. Обобщение по станциям России

Из рис. 4 видно, что при заблаговременности до двух лет среднеквадратическая ошибка прогноза среднегодовой температуры около 0,7 °C, а с увеличением заблаговременности ошибка возрастает. Причиной такого роста ошибок частично является несоответствие фактического и прогностического тренда температуры. В следующем разделе описан другой вариант статистической модели.

3. Модель климата на основе совмещения статистической модели с трендами от ансамбля физико-математических моделей. Оценки ошибок

Выше было показано, что с увеличением заблаговременности прогноза по статистической модели ошибка прогноза возрастает

за счет увеличения систематического сдвига из-за ошибок в прогнозе тренда.

Широко применяемые для прогностических оценок физико-математические модели имеют другие недостатки, они не описывают изменения климата на каждый конкретный год, а дают только набор возможных значений межгодовых изменений температуры, не привязанных к конкретным годам.

В результате при оценках точности прогнозов погодичных значений температуры в физико-математических моделях возникают большие среднеквадратические ошибки. Кроме того, эти глобальные модели плохо описывают даже нормы региональных значений температуры, часто модельные нормы имеют сдвиги как результат недостаточно точного учета региональных особенностей климата.

Получается, что статистическая модель климата St и ансамбль физико-математических моделей климата SUM имеют каждая не только свои недостатки, но и свои преимущества. Так как ансамбль физико-математических моделей лучше описывает тенденции долгосрочных изменений, чем статистическая модель ритмов, а модель ритмов лучше описывает погодичный климат, то целесообразно построить новую модель St_SUM климата на основе статистической модели ритмов St, в которой долгосрочные тенденции будут определяться по ансамблю физико-математических моделей SUM.

Для проверки такого подхода был доработан метод прогноза изменения климата на основе ритмов с заблаговременностью до 23 лет. Доработка заключалась в привлечении модели SUM (ансамбль моделей HadCM3, ECHAM4 и CGCM2) для вычисления трендов температуры в каждом узле.

В новом варианте короткопериодные изменения температуры прогнозировались по статистической модели на основе экстраполяции ритмов, но трендовая составляющая определялась на каждой станции по данным модели SUM. При этом во время привязки трендовой составляющей к ритмическим составляющим автоматически устранялся систематический сдвиг норм, который содержится в данных глобальных моделей.

На рис. 5 показаны среднеквадратические ошибки совмещенной модели St_SUM в сравнении с ошибками статистической модели St при различной заблаговременности прогноза до 23 лет.

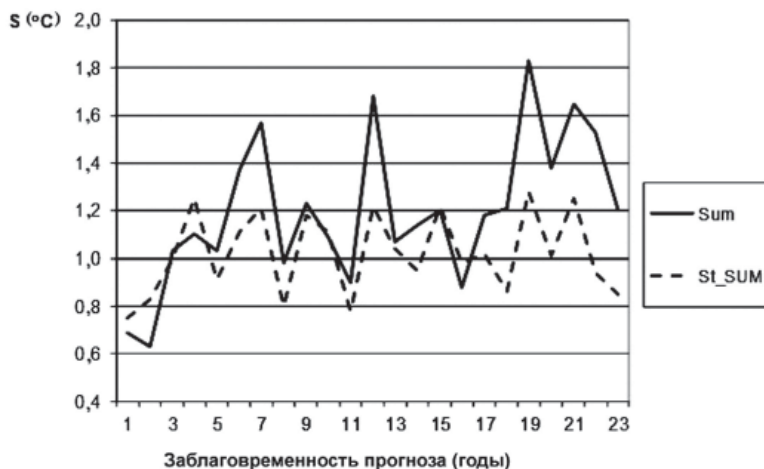


Рис. 5. Среднеквадратические ошибки прогностических оценок среднегодовой температуры воздуха при различной заблаговременности расчетов. Обобщение по станциям России

Из рис.5 видно, что добавление тренда позволило понизить ошибки с увеличением заблаговременности прогноза. Из рисунка так же видно, что наименьшие средние ошибки прогнозов достигаются при заблаговременности 1, 8, 11 и 18 лет и 22–23 года. Это те удачные случаи, когда заблаговременность прогноза совпадает с естественной длительностью ритмов, наиболее характерных для температурных рядов. В этом случае в статистической схеме прогноза ритмы определяются легче и более правильно.

В табл.2 показаны ошибки обобщенной модели St_SUM при воспроизведении годового хода по аналогии с табл.1 (первый вариант статистической модели) и с табл.3 из работы [1] для ансамбля физико-математических моделей.

Для удобства сравнения на одном рисунке (рис.6) показаны среднеквадратические ошибки прогнозов по статистической модели St , полученные в части 2 настоящей статьи и ошибки прогнозов по совмещенной модели ST_SUM .

Из рис.6 видно, что совмещенная модель St_SUM во все месяцы года дает ошибки меньше, чем модель St .

Таблица 2

Ошибки описания годового хода среднемесячных значений температуры за 1990–2007гг совмещенной моделью St_SUM по станциям России (°C)

Ошибка	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя	-1,0	-1,3	-0,8	0,1	-0,2	-0,1	0,0	0,0	0,3	-0,6	1,1	0,8
Среднеквадратическая	1,1	1,1	0,9	0,7	1,1	0,8	0,6	0,6	0,4	0,7	1,1	1,0

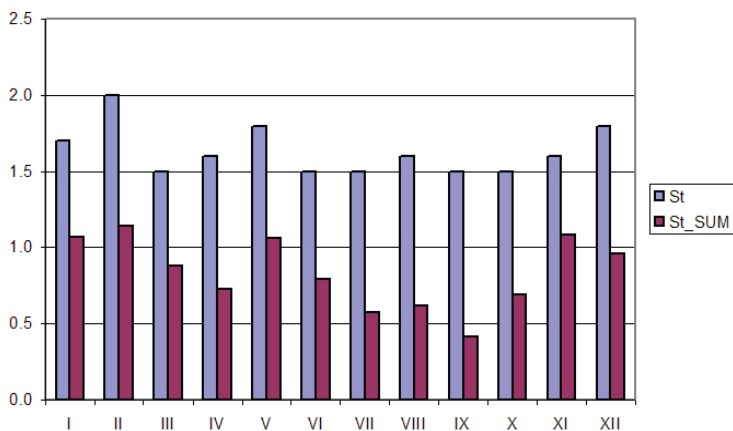


Рис.6. Среднеквадратические ошибки описания годового хода среднемесячных значений температуры по статистической модели (St) и по совмещенной модели St_SUM по станциям России (°C) за 1990–2007годы

Построенная таким образом совмещенная модель климата St_SUM на интервале с заблаговременностью прогноза до 23 лет оказалась лучше ансамбля физико-математических моделей климата и первого варианта статистической модели климата на основе ритмов. Поэтому в тех случаях, когда для практических задач достаточно прогноза климата на предстоящие 20–25 лет, целесообразно пользоваться предложенной совмещенной моделью. Но в тех случаях, когда необходим прогноз климата на более длительные сроки, нет альтернативы глобальным численным моделям.

Следует учитывать, что невозможно сделать всегда правильный прогноз климата по годам на каждой станции. Необходимо делать какие-то обобщения по пространству, чтобы исследовать и прогнозировать только главные особенности климата некоторого большого региона. Правильнее всего обобщение делать по климатическим районам. Нельзя описать все особенности предстоящих изменений климата даже по таким большим регионам, но фоновый прогноз общих особенностей предстоящего климата возможен. Фоновый прогноз – это прогностические оценки, которые показывают ожидаемое наиболее вероятное развитие атмосферных процессов и связанные с этим значения температуры в некоторых градациях.

Основные результаты

1. В результате детального изучения структуры ошибок различных моделей получено, что ансамбль физико-математических моделей лучше воспроизводит трендовую составляющую климата, а авторская статистическая модель лучше описывает межгодовые изменения температуры.

2. С учетом преимуществ и недостатков каждой из моделей создана обобщенная модель климата, в основе которой лежит статистическая модель ритмов с уточнениями многолетних трендов температуры по ансамблю физико-математических моделей.

3. На основе сравнения с реальными данными получено, что модель климата на основе совмещения статистической модели с трендами от ансамбля физико-математических моделей дает наилучшие результаты при расчете прогностических оценок на ближайшие два десятилетия.

Литература

1. Ш е р с т ю к о в Б. Г. Оценки точности физико-математических моделей ЕСНАМ4, HadCM3 и CGCM2 по данным на территории России. (см. настоящий сборник).
2. Ш е р с т ю к о в Б. Г. Долгосрочный прогноз месячной и сезонной температуры воздуха с учетом периодической нестационарности // Метеорология и гидрология. — 2007. — № 9. — С. 14–26.
3. Ш е р с т ю к о в Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. — Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. — 246 с.

**ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ОЦЕНОК
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУТОЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ В СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА**

Прогнозы изменений климата обычно строятся на основе физической теории изменений климата и полных гидродинамических моделей общей циркуляции атмосферы (физико-математических моделей). Уже построено несколько десятков моделей в различных странах. Модели позволяют давать оценки изменения климатических характеристик на несколько десятилетий вперед на основе прогноза изменения концентрации парниковых газов в атмосфере. Модель не дает точного прогноза климата будущего на каждый год, она позволяет оценить возможные сценарии изменения климата, если будет продолжаться накопление парниковых газов. Несмотря на то, что по моделям рассчитывают метеорологические величины с суточной дискретностью, это всего лишь набор наиболее вероятных значений характеристик будущего климата.

Модели дают, по сути, прогноз трендов, прогноз годового хода и возможный диапазон отклонений суточных значений метеорологических величин от годового хода с учетом прогнозируемого тренда.

Другой подход развивается на основе статистической модели изменений климата ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» по данным наблюдений на метеорологических станциях [1–3]. Так же как все физико-математические модели, упомянутая статистическая модель и предлагаемая дополнительная методика расчета прогностических суточных распределений температуры не дают точного прогноза температуры, но позволяют получить оценки наиболее вероятных состояний климата в будущем.

Статистическая модель климата построена на основе выделения и экстраполяции ритмов в климатической системе и реального годового хода, вычисленных по результатам наблюдений, и с учетом трендов, которые дают полные гидродинамические модели общей циркуляции атмосферы. То есть в статистической

модели климата на тренд, который прогнозируют по модели общей циркуляции атмосферы, накладываются ритмы естественных колебаний климата. Таким образом достигается лучшее соответствие прогнозируемых колебаний климата с реальными данными. При этом дискретизация по времени в статистической модели составляет один месяц. Возникает задача моделирования распределения суточных значений температуры внутри месяца.

Среднемесячная температура воздуха складывается из ежесуточных значений температур. Любое изменение среднемесячной величины является результатом изменения суточных температур, включая изменения статистической структуры суточной температуры (дисперсия, асимметрия, эксцесс) внутри каждого месяца. Изменения статистической структуры зависят от многих региональных и сезонных особенностей, задача сводится к получению прогностического наиболее вероятного распределения внутри месяца суточных значений температуры для ранее полученного прогностического значения среднемесячной температуры. Решается задача по отдельным регионам на основе обработки результатов метеорологических наблюдений.

Предлагается методика вычисления распределения суточных температур (модель суточных значений) как дополнение к статистической модели климата [1–3].

В модели использованы среднесуточные значения температуры воздуха, осредненные по субъектам Федерации России за период 1966–2004 годов. Районирование по субъектам Федерации выбрано исходя из практических задач. Некоторые большие субъекты Федерации России в Сибири разбивались на части. Так Якутия разделена на ее западную, восточную и южную части. Красноярский и Хабаровский края, Читинская и Иркутская области, Республика Бурятия, Таймырский (Долгано-Ненецкий) автономный округ разделены на северную и южную части.

По каждому региону по каждому месяцу отдельно составлялись ряды среднемесячных значений температуры за 1966–2004 гг. (ряд январских значений, ряд февральских значений и т.д. по всем месяцам – ряды одноименных месяцев). За 1971–2000 гг. вычислялись нормы $T_s(m)$ и среднеквадратические отклонения $\sigma(m)$ температуры по каждому месяцу отдельно.

Далее проводились анализ и сопоставление структуры суточных значений температуры в зависимости от величин средне-

месячной температуры. Анализировались ряды, составленные из значений температуры одноименных месяцев.

По каждому ряду-месяцу составлялись выборки холодных, нормальных и теплых лет. Для выделения холодных, нормальных и теплых лет все значения температуры были разделены на три части: значения ниже нормы, около нормы и выше нормы. Интервал «около нормы» определялся как интервал $\pm\sigma$ от нормы (σ – среднеквадратическое отклонение).

К холодным относились годы, в которые в заданный месяц среднемесячная температура $T_{g,m}$ была ниже нормы температуры, уменьшенной на величину среднеквадратического отклонения

$$T_{g,m} < T_s(m) - \sigma(m).$$

К теплым относились годы, в которые в заданный месяц среднемесячная температура $T_{g,m}$ была выше нормы температуры, увеличенной на величину среднеквадратического отклонения:

$$T_{g,m} > T_s(m) + \sigma(m).$$

Отдельно по каждой выборке лет по каждому месяцу вычислены повторяемости среднесуточных значений по градациям через 2 °С. Получились распределения температуры внутри месяца для трех возможных случаев по каждому месяцу: распределение суточных температур в аномально холодные месяцы $G_{x,m}$, распределение суточных температур в нормальные месяцы $G_{n,m}$ и распределение суточных температур в аномально теплые месяцы $G_{t,m}$. Одновременно по каждой выборке лет по каждому месяцу вычислены средние месячные температуры для случаев: аномально холодный месяц $S_{x,m}$, нормальный месяц $S_{n,m}$ и аномально теплый месяц $S_{t,m}$. Предполагается, что различия в распределении среднесуточной температуры в холодном и теплом месяцах определенным образом зависят от разности среднемесячных температур. Тогда следует, что при повышении среднемесячной температуры на некоторую величину определенным образом изменяется распределение среднесуточной температуры, т.е. повторяемость тех или иных значений суточной температуры в каждой градации изменится определенным образом. Изменение распределения произойдет по-разному в разных районах и в разных месяцах года. Это обстоятельство учитывается независимой обработкой наблюдений по регионам и месяцам.

Итак, необходимо смоделировать будущее распределение суточных значений температуры внутри месяца, когда известна

его прогностическая среднемесячная температура. Распределение моделировалось на основе линейных коэффициентов, отражающих зависимость изменения повторяемости суточной температуры в каждой градации от величины прироста среднемесячной температуры.

Далее для упрощения изложение ведется на примере январских температур, хотя применять методику необходимо для каждого месяца.

Если из всех лет выбрать теплые и холодные январы, затем вычислить по ним повторяемость суточной температуры по градациям через 2 °С и по каждой градации получить разности повторяемости, то эти разности по градациям покажут различия в распределениях суточной температуры в теплых и холодных январях

$$G_{t,m}(i) - G_{x,m}(i),$$

где i – перебирает градации, «т» и «х» – признаки теплого и холодного месяца.

Одновременно вычислим среднемноголетние значения месячных температур в теплые $S_{t,m}$ и холодные $S_{x,m}$ январы (январь – при $m=1$).

Деление разностей $G_{t,m}(i) - G_{x,m}(i)$ в каждой градации на разность среднемесячных температур $(S_{t,m} - S_{x,m})$ дает коэффициент прироста $dG_a(i)$ повторяемости суточной температуры в анализируемой градации при изменении среднемесячной температуры на 1 °С:

$$dG_a(i) = (G_{t,m}(i) - G_{x,m}(i)) / (S_{t,m} - S_{x,m}),$$

i – перебирает градации.

Теперь если известно распределение суточной температуры в январях с нормальной среднемесячной температурой $G_{n,m}(i)$ и известна средняя температура нормальных январей $S_{n,m}$, а так же известно прогностическое значение среднемесячной температуры $T_{p,m}$, то на основе коэффициентов прироста $dG_a(i)$ можно вычислить прогностическое распределение суточной температуры $G_m(i)$:

$$G_m(i) = G_{n,m}(i) + dG_a(i)(T_{p,m} - S_{n,m}), \quad (1)$$

i – перебирает градации.

Вычисление по формуле (1) целесообразно проводить, если прогностическая среднемесячная температура лежит в интервале:

$$S_{x,m} < T_{p,m} < S_{t,m}.$$

Если прогностическая среднемесячная температура выше тех значений, которые ранее уже наблюдались ($T_{p,m} > S_{t,m}$), то коэффициент прироста $dG_6(i)$ повторяемости суточной температуры лучше вычислять по данным аномально теплых и нормальных месяцев:

$$dG_6(i) = (G_{t,m}(i) - G_{n,m}(i)) / (S_{t,m} - S_{n,m}),$$

i – перебирает градации; $G_{t,m}(i)$ – гистограмма суточной температуры аномально теплых месяцев m .

Тогда прогностическое распределение среднесуточной температуры будет

$$G_m(i) = G_{t,m}(i) + dG_6(i)(T_{p,m} - S_{t,m}),$$

i – перебирает градации.

Если прогностическая среднемесячная температура будет ниже тех значений, которые ранее уже наблюдались ($T_{p,m} < S_{x,m}$), то коэффициент прироста $dG_6(i)$ повторяемости суточной температуры лучше вычислять по данным холодных и нормальных месяцев:

$$dG_6(i) = (G_{n,m}(i) - G_{x,m}(i)) / (S_{n,m} - S_{x,m}),$$

где i – перебирает градации; $G_{x,m}(i)$ – гистограмма суточной температуры аномально холодных месяцев m .

Тогда прогностическое распределение среднесуточной температуры будет

$$G_m(i) = G_{x,m}(i) + dG_6(i)(T_{p,m} - S_{x,m}),$$

i – перебирает градации.

Аналогично вычисляются прогностические распределения суточной температуры для всех остальных месяцев (m – перебирает месяцы от января до декабря).

Разделение расчетов на три варианта позволяет точнее учесть изменение распределения для очень высоких и очень низких значений прогностической среднемесячной температуры. Коэффициент изменения в каждой градации и в каждом месяце в каждом регионе имеет свои значения.

Статистический переход от модельных среднемесячных значений температуры к суточным напоминает широко используемый даунскейлинг как способ перехода от большого масштаба к меньшему. Чаше даунскейлинг применяется в региональных моделях для получения детализированных в пространстве модельных метеорологических величин на основе редких в пространстве

значений метеорологических величин, полученных по глобальным моделям [5, 6]. В настоящей работе предлагается метод перехода от большего масштаба по времени к меньшему – от среднемесячных значений к суточным. Предложенный метод является одной из разновидностей статистического даунскейлинга, который основан на предположении о том, что статистические взаимосвязи, полученные с использованием современной информации о климате, действительны при будущих состояниях климата [4]. Используя статистическую зависимость распределения внутримесячной температуры от ее среднемесячного значения в современном климате и зная зависимость изменения распределения внутримесячной температуры от величины роста средней температуры, вычисляется прогностическое распределение суточной температуры при ожидаемом прогностическом значении среднемесячной температуры.

По изложенной методике были вычислены прогностические распределения суточной температуры по выборочным годам на основе ожидаемых значений среднемесячных температур, полученных по статистической модели ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» до 2030 года [2, 3].

Для примера рассмотрим январскую температуру в Московской области. На рис.1. показан прогностический ход среднемесячной температуры январей до 2030 года.

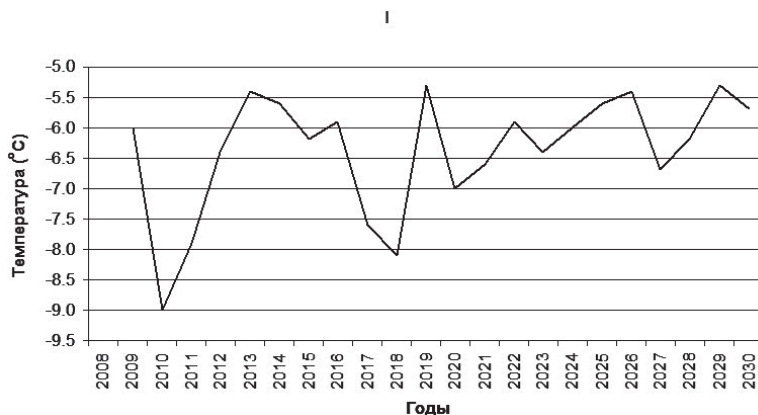


Рис.1. Прогностическая температура на 2009–2030 гг. Январь. Московская область

Рассмотрим один холодный и один теплый год, выберем по графику теплый январь, например, в 2013 г., температура в этот год ожидается $-5,4^{\circ}\text{C}$, и выберем холодный январь в 2018 г., температура января в этот год ожидается $-8,1^{\circ}\text{C}$. По методике, описанной выше, вычисляем прогностические гистограммы распределения суточных значений для январей выбранных лет и строим их на одном рисунке. Температура каждого месяца характеризуется среднемесячным значением и повторяемостью значений суточной температуры по градациям через 2°C .

На рис. 2 показаны гистограммы для прогностических выбранных теплого и холодного январей и для сравнения приводится гистограмма температуры по наблюдениям за 1971–2000 гг. Период 1971–2000 гг. рассматривается как период с нормальными условиями.

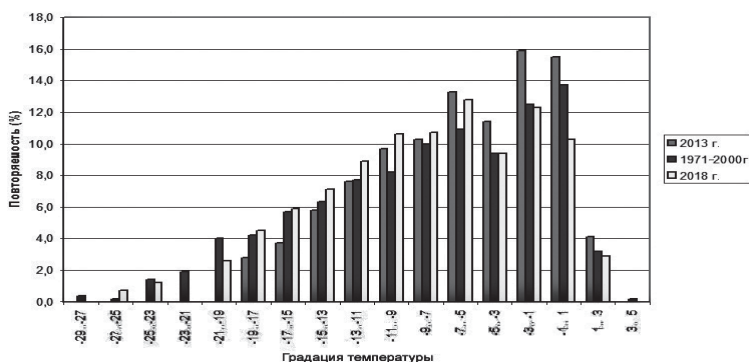


Рис.2. Распределение (число дней в %) среднесуточной температуры в теплом январе 2013 г., в холодном январе 2018 г. по прогностическим оценкам и норма распределения в 1971–2000 гг. по фактическим данным. Московская область

Из рис.2 видно, что в холодном январе 2018 г. чаще, чем в теплом январе, будут встречаться низкие среднесуточные значения температуры (ниже $-7... -9^{\circ}\text{C}$). В холодном январе по оценкам будут появляться значения температуры ниже $-19... -21^{\circ}\text{C}$, а в теплом январе 2013 г. таких среднесуточных температур не ожидается. Если сравнивать распределение температуры в относительно холодный январь 2018 г. (прогностическая оценка) с распределением

температуры января за 1971–2000 гг. по результатам наблюдений, то видно на рис. 2, что прогнозируемое распределение температуры на 2018 г. очень похоже на то распределение, которое фактически было за 1971–2000 годы.

А в теплом январе 2013 г. не ожидается суточных температур ниже -19°C , меньше чем в другие годы ожидается число дней с морозами от -13 до -19°C . Ожидается, что в правой части гистограммы в градацию выше -11°C в теплом январе 2013 г. войдет большее число дней по сравнению с холодным январем 2018 г. и по сравнению с распределением суточной температуры в 1971–2000 гг. по данным наблюдений. Отсюда следует, что при повышении температуры в Московской области в январе гистограмма распределения не просто смещается вправо в сторону более высоких температур, а ожидается изменение распределения – исчезнут пять градаций самых низких значений в левой части и на одну градацию станет меньше в правой части гистограммы.

Аналогичные расчеты прогностических распределений выполнены для июля. На рис.3. показан прогностический ход среднемесячной температуры в июле до 2030 г., полученный по статистической модели [2, 3]. Для расчета и сопоставления распределений суточной температуры при различных среднемесячных температурах возьмем холодный июль в 2017 г. (по статистической модели в 2017 г. ожидается температура $17,2^{\circ}\text{C}$) и теплый июль в 2025 г. (по статистической модели в 2025 г. ожидается температура $20,9^{\circ}\text{C}$).

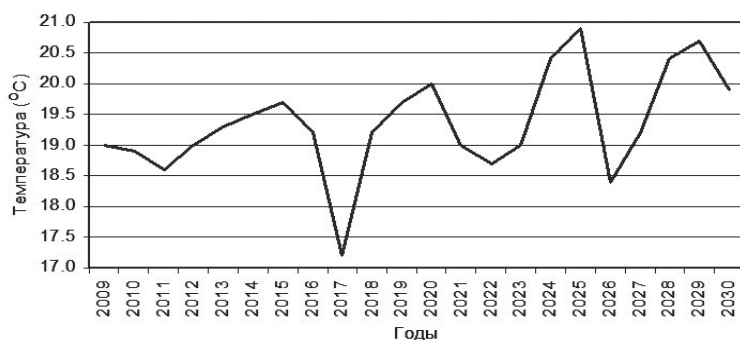


Рис.3. Прогностическая температура на 2009–2030 гг. Июль. Московская область

Расчетные диаграммы на 2017 и 2025 гг., а так же норма распределения за 1971–2000 гг. показаны на рис.4.

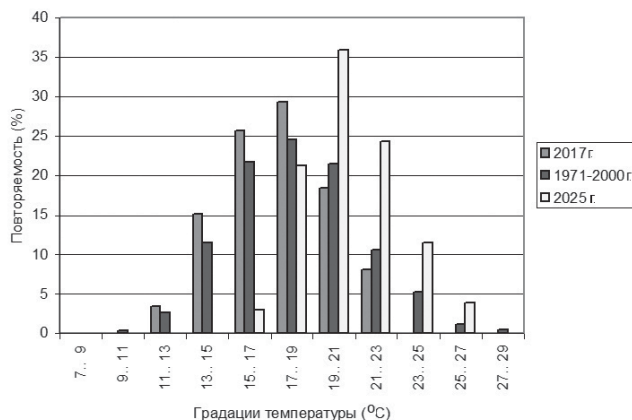


Рис.4. Распределение (число дней в %) среднесуточной температуры в теплом июле 2025 г., в холодном июле 2017 г. по прогностическим оценкам и норма распределения в 1971–2000 гг. по фактическим данным. Московская область

Из рис.4 видно, что левая и центральная части расчетной гистограммы для теплого июля 2025 г. смещена вправо относительно нормальной гистограммы 1971–2000 гг. и относительно расчетной гистограммы для холодного июля 2017 года. При этом экстремально теплых дней больше не ожидается по сравнению с нормой, а ожидается уменьшение числа холодных июльских дней.

В холодном июле 2017 г. ожидается уменьшение числа теплых дней, увеличение числа холодных дней, но не ожидается появления более низких температур, чем были в 1971–2000 годах.

Предложенная методика дополняет статистическую модель ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» [1–3], в совокупности с которой можно получать оценки состояния регионального климата (температуры) на предстоящие два десятилетия, включая оценки по месяцам и наиболее вероятное распределение суточных температур внутри месяца.

Литература

1. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. – 246 с.
2. Шерстюков Б.Г. Метод прогноза климата на предстоящие два десятилетия на основе экстраполяции ритмов // Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2007. – Вып.173. – С. 221–235.
3. Шерстюков Б.Г., Разуваев В.Н. Оценки изменений климата по регионам России на период до 2030 года по данным статистической модели. (см. настоящий сборник).
4. Hewitson B.C. and R.G.Crane. Climate downscaling: techniques and application // Climate Research. – 1996. –Vol. 7. – P. 85–95.
5. Giorgi F. Regional climate modeling: Status and perspectives // J. Phys. IV France 139 (2006). 101–118.
6. Wilby Robert L., Hany Hassan and Keisuke Hanaki. Statistical downscaling of hydrometeorological variables using general circulation model output // Journal of Hydrology. – Vol. 205. – Issues 1–2, 26 February 1998. – P. 1–19.

Б.Г. Шерстюков, Р.С. Салугаишвили

НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ИЗМЕНЕНИЯХ КЛИМАТА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ЗЕМЛИ В ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ

Введение

Потепление климата, охватившее всю планету со второй половины XX века, в большинстве научных публикаций связывают с антропогенным усилением парникового эффекта CO_2 в атмосфере. В Обобщающем докладе 2007 года Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГИК) [4] очень осторожно указано: «Весьма вероятно, что наблюдаемое с середины XX столетия повышение глобальных средних температур большей частью вызвано наблюдаемым повышением концентраций антропогенных парниковых газов».

Для прогноза изменений климата на будущее во многих климатических центрах мира построены физико-математические модели климата, в которых концентрация углекислого газа в атмосфере является основным, а по сути единственным фактором современных изменений климата. Оценки будущего климата по таким моделям показывают, что неуклонный антропогенный рост концентрации CO_2 будет сопровождаться потеплением климата многие десятилетия и даже столетия. Но в Докладе [4] нет категорического утверждения о том, что современные изменения климата полностью определяются антропогенным усилением парникового эффекта, следовательно, допускаются другие факторы, прежде всего факторы естественные, которые вносят свой вклад в изменения климата. Общепризнанного прогноза естественных колебаний климата пока нет, поэтому конечный результат совместного действия факторов антропогенного и естественных не вполне определен и нет оснований для категорического утверждения о парниковой катастрофе в будущем на основе оценок по несовершенным моделям.

Модели являются важным этапом в построении теории климата как способ обобщения результатов исследований климата на основе наблюдений и как инструмент проверки сложившихся

представлений о процессах в климатической системе на их соответствие известным законам физики. Сравнение модельных и эмпирических данных позволяет совершенствовать как методы эмпирического анализа, так и физико-математические модели.

И с парниковым эффектом в моделях не все ясно. Несмотря на огромные усилия и определенные успехи в моделировании современного климата, как отмечено в работе [2], фундаментальный вопрос – какова чувствительность климатической системы к малым внешним воздействиям (CO_2) – остается до настоящего времени практически открытым. Там же показано, что чувствительность к концентрации CO_2 многих современных совместных моделей общей циркуляции атмосферы и океана существенно завышена. Это означает, что повышение температуры воздуха за последние десятилетия нельзя полностью объяснить усилением антропогенных парниковых газов. Такой вывод вполне согласуется с Докладом [4]. Но нельзя уходить в другую крайность и ставить под сомнение роль усиливающегося парникового эффекта. Наличие парниковой составляющей в современных изменениях климата доказано на экспериментальных данных [6]. Ключевой проблемой здесь является определение относительной роли естественных и антропогенных факторов изменений климата. Такая проблема рассматривается в разных работах [5].

Существует целый ряд других нерешенных проблем в физико-математических моделях, часть этих проблем обусловлена, как указано в работе [3], недостаточным уровнем понимания физических процессов. Большинство современных моделей не воспроизводят с необходимой степенью достоверности некоторые крупномасштабные моды климатических изменений.

Долгопериодные колебания в климатической системе определяются процессами в океане и в криосфере, но ошибки в воспроизведении общей циркуляции океана и большие погрешности расчетов состояния морского льда с помощью современных моделей общей циркуляции атмосферы и океана [3] создают большие проблемы в оценке внутривековых колебаний и трендов крупномасштабной циркуляции океана (в частности, меридионального переноса тепла в Северной Атлантике или аномалий солености в Северном Ледовитом океане и субарктической Атлантике) и атмосферы. В моделях непреодолимыми пока остаются проблемы предсказания быстрых (внезапных) климатических изменений, в том числе в результате изменений крупномасштабной термохалинной циркуляции

Мирового океана [3]. Сегодня вполне очевидно, что существующие модели не учитывают естественное чередование эпох потепления и похолодания климата [1]. Естественные колебания имеют примерно полувековые, вековые и более длительные циклы. Именно такие составляющие изменений климата реально наблюдаются во многих регионах мира, но модели их не воспроизводят. Поэтому необходимы тщательный мониторинг и анализ тонкой структуры изменений климата для выявления новых тенденций, если такие появятся, а прогноз трендов, которые дают физико-математические модели, необходимо корректировать с учетом естественных колебаний климата. Конечный результат не известен. Вопрос о прогнозе дальнейшего изменения климата обострился в последний год.

Исходные данные

В работе использовались среднегодовые значения аномалий приповерхностной глобальной температуры воздуха (данные получены из <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/ZonAnn.Ts+dSST.txt>), данные [7] о среднегодовых значениях аномалий приповерхностной температуры воздуха над сушей и мировым океаном (HadCRUT3 – Gridded monthly temperatures <http://hadobs.metoffice.com/hadcrut3>) в узлах географической сетки $5 \times 5^\circ$ и данные [9] о температуре воздуха в центральной Англии (HadCET – Central England temperatures <http://hadobs.metoffice.com/hadcet>).

Результаты анализа

В докладе [8] по данным наблюдений до 2004 года показано, что последние десятилетия потепление климата ускоряется. Однако, судя по более свежим публикациям, в начале XXI века повышение глобальной температуры остановилось, это видно на рис.1, который построен по данным <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/ZonAnn.Ts+dSST.txt>

Приостановка глобального потепления уже была около 60 лет назад в начале 1940-х годов, после чего последовало временное относительное похолодание глобального климата. Общепризнано, что упомянутый случай был связан с естественными колебаниями климата. Легко предположить, что естественные

колебания после этого не прекратились. На данном этапе очень важно понять, является ли затишье в стремительном потеплении глобального климата в начале XXI века временным явлением, и тогда потепление продолжится, или далее последует понижение температуры, как это уже было в 1950-х годах.

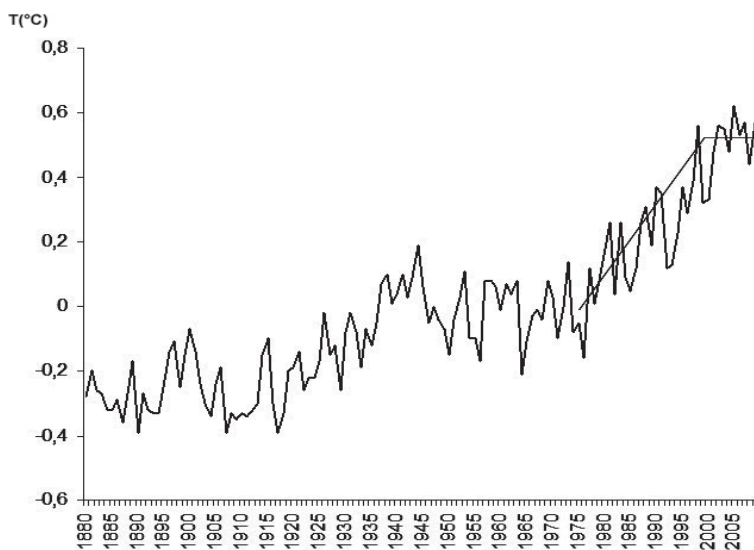


Рис.1. Аномалии среднегодовой глобальной температуры воздуха над сушей и океаном. Базовый период норм 1951–1980 гг. По данным <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata/ZonAnn.Ts+dSST.txt>

За период с начала XX века наблюдались две волны потепления. Как уже сказано, первая была в 30 – 40-е годы, а вторая наблюдается начиная с 70-х годов. До XX века волны потепления тоже наблюдались. На рис. 2 показано изменение температуры воздуха в центральной Англии зимой за последние три с половиной столетия. Мягкие зимы Европы обусловлены влиянием теплого течения Гольфстрим в Атлантике. Как уже было сказано, океан поддерживает долгопериодные колебания в климатической системе.

На рис.2 условно показаны фазы роста и падения температуры, из которых складываются многолетние волны тепла и холода. Каждая новая волна наблюдается на более высоком фоне, чем

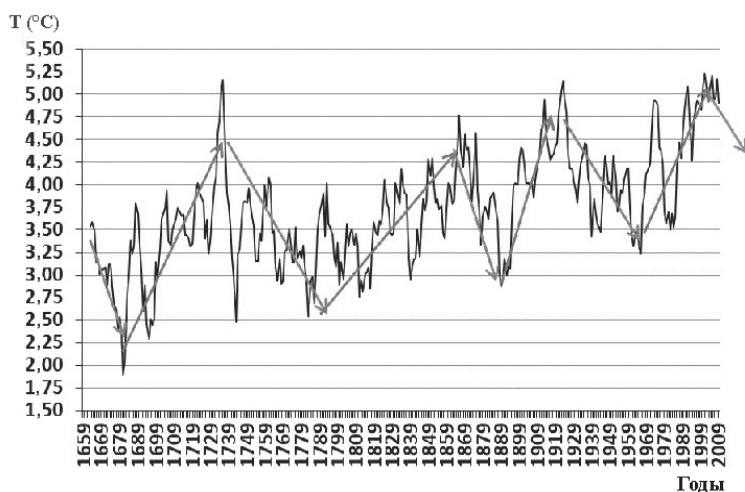


Рис.2. Температура в центральной Англии зимой (°C). Скользящие по 7-летиям сглаженные значения и условные фазы роста и падения температуры

предыдущая. Видно, что современное потепление, начавшееся во второй половине XX века, является четвертым за имеющиеся 350 лет наблюдений. В трех предыдущих случаях после ситуации, подобной современной, следовало понижение температуры. Что будет в четвертый раз? Логика подсказывает, что относительное понижение температуры непременно последует в ближайшие годы.

По данным о среднегодовой глобальной температуре воздуха над сушей и океаном в XX веке самым теплым был 1998 год (рис.1), но потепление происходило неравномерно по регионам. Рассмотрим значения трендов температуры воздуха за период интенсивного потепления в XX веке – 1976–1998 годы. На карте (рис.3) показаны тренды температуры воздуха в °C на 10 лет. Тренды вычислены по данным об аномалиях среднегодовой приповерхностной температуры воздуха над сушей и океаном в узлах географической сетки $5 \times 5^\circ$ Северного полушария Земли.

Из рис. 3 видно, что в 1976–1998 гг. на полушарии преобладало потепление климата до $0,5^\circ\text{C}/10$ лет и выше, за исключением

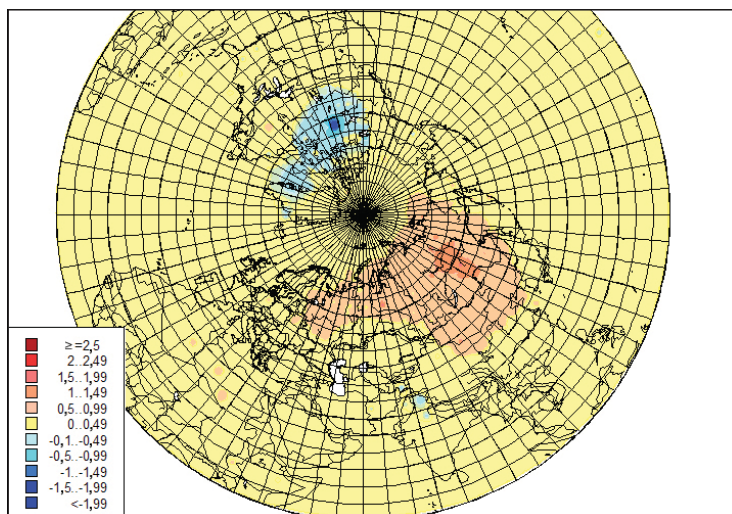


Рис.3. Тренды среднегодовой температуры воздуха над сушей и океаном за 1976–1998 гг.

некоторых участков севера Канады, в которых наблюдалось похолодание до $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Положительные тренды среднегодовой температуры выше $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ наблюдались на севере Евразии в интервале от 30 до 150° в.д., а также тренды выше $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ наблюдались на остальной части Восточной Сибири, в Монголии и на северо-востоке Китая. Самые большие положительные тренды от $1,0$ до $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ наблюдались в верхней половине бассейна р. Лена.

Отдельно были вычислены тренды аномалий среднегодовой температуры после 1998 года. На рис.4 показана карта трендов температуры за 1999–2009 годы. Из рис. 4 видно, что по сравнению с трендами 1976–1998 гг. в последнее десятилетие область положительных трендов $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ (и выше) расширилась и сместилась к полюсу, при этом высокие положительные тренды охватили весь Северный Ледовитый океан и Сибирь. В Монголии и Китае положительные тренды ослабли и стали менее $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Но главной особенностью этих лет является резкое похолодание климата на севере Канады (тренды $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$) и появление обширных областей с отрицательными трендами от

-0,1 до -0,5 °C/10лет, которые охватывают всю Северную Америку и прилегающие части Атлантического и Тихого океанов в средних широтах, огромную часть Тихого океана от побережья Азии до меридиана около 200° в.д. и районы Северной Африки, Ближнего Востока и обширного Прикаспийского региона.

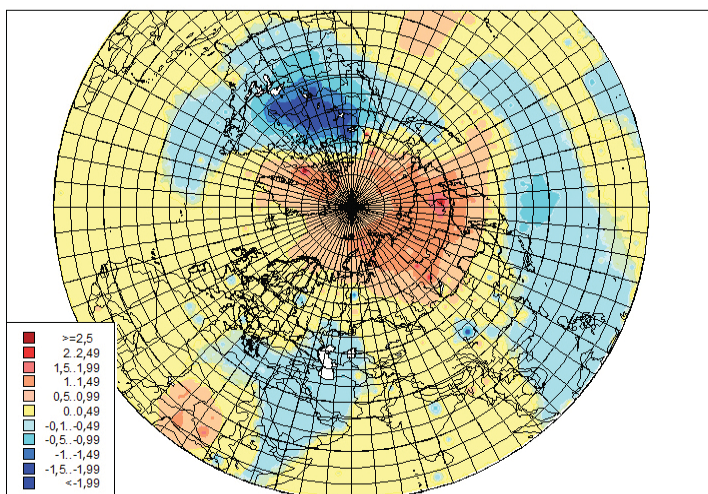


Рис. 4. Тренды среднегодовой температуры воздуха над сушей и океаном за 1999–2009 гг.

Рис. 4 показывает, что потепление климата, уже не является преобладающим в Северном полушарии. Важно проследить тенденции изменения температуры в самые последние годы. Оценки тенденций изменения температуры за последние 6 лет (2004–2009 гг.) показали (рис.5), что отрицательные тренды температуры в эти годы охватили более половины территории Северного полушария Земли. Отрицательные тренды температуры до -1,0 °C/10 лет наблюдаются почти над всем Атлантическим океаном и всей восточной частью Тихого океана, а также в центральной Африке, в Западной Сибири, над Охотским морем и в прилегающих районах. Наибольшие отрицательные тренды температуры ниже -1,0 и ниже -2,0 °C/10 лет наблюдаются в Северной Америке, над восточной и приэкваториальной частями Тихого океана и в Западной Сибири.

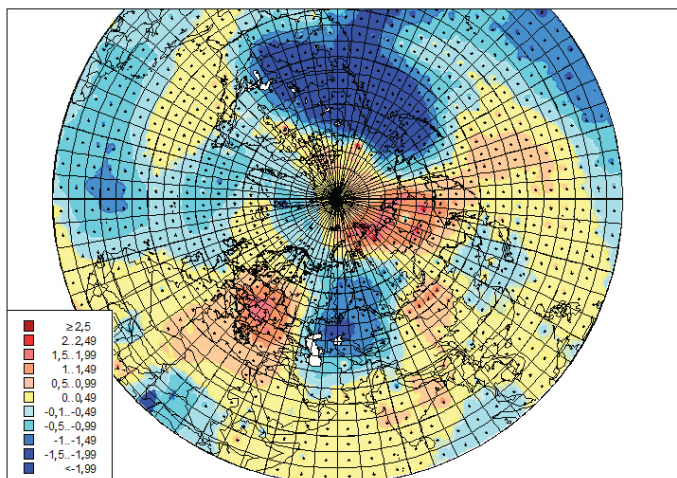


Рис. 5. Тренды среднегодовой температуры воздуха над сушей и океаном за 2004–2009 гг.

Заключение

В результате выполненного исследования показано, что в последние годы произошли изменения в структуре тренда среднегодовой глобальной приповерхностной температуры воздуха и в региональных трендах температуры. На территории Северного полушария в последнее десятилетие, и особенно в последние 6 лет, преобладающими стали отрицательные тренды температуры. Преобладающее в Северном полушарии потепление климата 1976–1998 гг. сменилось тенденцией к похолоданию.

Расширение регионов с отрицательными трендами температуры за последнее десятилетие и преобладание отрицательных трендов над Северным полушарием за последние 6 лет еще не дают оснований для утверждения о начавшемся похолодании климата, но показывают, что изменения климата содержат мощную колебательную составляющую естественного происхождения, которая не слабее той экспоненциальной составляющей, которая связана с усилением парникового эффекта. Поэтому к прогнозам

о неминувом продолжении глобального потепления в ближайшие годы необходимо относиться осторожно и совершенствовать различные виды моделей для прогноза климата с учетом естественных и антропогенных факторов.

Авторы благодарны заведующему отделом климатологии кандидату физико-математических наук В.Н. Разуваеву за полезные обсуждения на промежуточных этапах выполнения работы.

Литература

1. Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е. О характере и причинах изменений климата Земли // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2009. – №1 (81). – С.15–23.
2. Дымников, Е.М. Володин, В.Я. Галин, А.В. Глазунов, А.С. Грицун, Н.А. Дианский, В.Н. Лысков В.П. Чувствительность климатической системы к малым внешним воздействиям // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 4. – С. 77–91.
3. Катцов В.М., Мелешко В.П. Современные приоритеты фундаментальных исследований климата // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. – 2008. – Вып. 557. – С.3–19.
4. МГЭИК, 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Р.К. Пачаури, А. Райзингер и основная группа авторов (ред.). – Женева, 2007. – 104 с.
5. Мохов И.И. Диагностика причинно-следственной связи солнечной активности и приповерхностной температуры Земли // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 44, № 3. – С. 283–293.
6. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. – 246 с.
7. P. Brohan, J. J. Kennedy, I. Harris, S. F. B. Tett, P. D. Jones. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850. – JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 111, D12106, doi:10.1029/2005JD006548. – 2006.
8. Climate change 2007. The physical science basis. Working group I «Contribution to the fourth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change». Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University press, 2007. – 996 p.
9. Parker, D.E., T.P. Legg, and C.K. Folland. A new daily Central England Temperature Series, 1772–1991 // Int. J. Clim. – 1992. – Vol 12. – P. 317–342.

*О.Н. Булыгина, Н.Н. Коршунова,
Л.Н. Аристова, Л.Т. Трофименко*

ИССЛЕДОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА И ИХ ВЛИЯНИЯ НА РАЗВИТИЕ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ ЭКОНОМИКИ

Введение

Проблеме исследования условий погоды, вызывающих неблагоприятные и опасные явления, которые наносят социальный и экономический ущерб, уделяется большое внимание. Эта информация обобщается и систематизируется по многим аспектам с целью возможного уменьшения негативных последствий и потерь от опасных гидрометеорологических явлений.

Начиная со второй половины 80-х годов отмечается практически линейный рост аномалий глобальной температуры. Потепление наблюдается в Северном и в Южном полушариях, во всех широтных зонах, отчетливее в зимние месяцы. Глобальное потепление особенно в последние десятилетия стало заметным и на территории Ямало-Ненецкого автономного округа (АО). Однако на фоне глобального потепления в изменении основных метеорологических параметров прослеживаются региональные особенности. Знание и учет этих особенностей очень важны для рационального использования природных ресурсов, правильного размещения производственных мощностей, эффективного развития экономики региона. К сожалению, подробное описание климатических условий, складывающихся в последние годы на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, отсутствует. Важной задачей является подготовка специализированной информации об изменяющемся климате и рекомендаций по адаптации к происходящим изменениям.

Данная работа посвящена подробному исследованию изменения основных метеорологических параметров на территории Ямало-Ненецкого автономного округа с учетом потребности в климатической информации основной отрасли региона – нефтегазовой.

Краткая характеристика региона исследований

По запасам и объемам добычи природного газа регион занимает 1-е место в мире. Значительны залежи нефти. По перспективным запасам и объемам добычи газа этот регион является крупнейшей в мире газодобывающей провинцией. Здесь добывается до 90 % всего российского газа и 12 % нефти. Кроме углеводородного сырья недр ЯНАО в западной его части содержат элементы практически всей таблицы Д.И. Менделеева. Ямало-Ненецкий АО может стать не только энергетической, но и горнодобывающей базой России (<http://www.yamal.ru>).

Высокоширотное расположение территории округа, небольшой приток солнечной радиации, значительная удаленность от теплых воздушных и водных масс Атлантического и Тихого океанов, равнинный рельеф, открытый для вторжения воздушных масс с Арктики в летнее время и переохлажденных континентальных масс зимой, определяют резкую континентальность и суровость климата. На формирование климата влияют многолетняя мерзлота, близость холодного Карского моря, глубоко вдающиеся в сушу морские заливы, обилие болот, озер и рек. Не меньшее влияние оказывает азиатский континент, что проявляется в хорошо выраженных зимне-летних особенностях трансформации воздушных масс и возрастании континентальности климата с северо-запада на восток.

Территория округа располагается в основном в трех климатических зонах: арктической, субарктической и зоне северной (таежной) полосы Западно-Сибирской низменности.

Данные

Расчеты климатических характеристик выполнены по массивам основных метеорологических наблюдений срочного и суточного разрежений на 31 станции, которые расположены на территории Ямало-Ненецкого АО за период с 1966 по 2007 г. Для анализа температурного режима привлекались данные среднемесячных значений температуры воздуха за весь период наблюдений на метеостанциях.

Результаты

Климатические условия во многом определяют функционирование и технико-экономические показатели нефтегазовой отрасли, особенно в регионе, крайне бедном климатическими ресурсами,

почти для всех видов хозяйственной деятельности и проживания человека, каким является Ямало-Ненецкий АО. В [1] приводятся критические значения специализированных климатических показателей, влияющих на бесперебойную работу всех подразделений нефтегазовой отрасли. Например, при температуре воздуха ниже -30°C необходимо утепление трубопровода и использование морозостойких материалов, что приводит к значительному удорожанию работ.

Рассмотрим особенности температурного режима Ямало-Ненецкого автономного округа и его изменения в последние десятилетия.

Среднегодовая температура воздуха отрицательная на территории всего региона: на Крайнем Севере составляет $-10\dots-12^{\circ}\text{C}$, на юге $-4\dots-6^{\circ}\text{C}$. Самым холодным месяцем является январь, причем самые низкие температуры наблюдаются на юго-востоке округа с удалением от моря и увеличением континентальности климата. Минимальные температуры в отдельные дни опускаются до -59°C . На территории округа период устойчивых морозов составляет 200 и более дней, за исключением крайних юго-восточных районов (см. табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Характеристики периода устойчивых морозов

Индекс ВМО	Название станции	Характеристики устойчивых морозов		
		Наступление	Прекращение	Продолжительность (дни)
20667	Им.Попова	29.09	8.06	253
20864	Тамбей	1.10	31.05	243
20963	Гыдо-Ямо	30.09	30.05	243
20967	Сеяха	3.10	28.05	238
23032	Марресалы,мыс	5.10	24.05	232
23058	Антипаюта	1.10	26.05	238
23242	Новый Порт	7.10	20.05	226
23256	Тазовск	3.10	20.05	230
23330	Салехард, ЦГМС-2	10.10	5.05	208
23331	Ра-Из	22.09	28.05	249
23333	Салемал	8.10	9.05	214
23339	Полуй	9.10	3.05	207

Окончание табл. 1

Индекс ВМО	Название станции	Характеристики устойчивых морозов		
		Наступление	Прекращение	Продолжительность (дни)
23365	Сидоровск	4.10	12.05	221
23445	Надым	9.10	1.05	205
23453	Уренгой	6.10	10.05	217
23552	Тарко-Сале, ОГМС	8.10	4.05	209
23656	Халесовая	9.10	28.04	202
23662	Толька	9.10	24.04	198

В последние десятилетия температурный режим зимнего периода на территории округа практически не изменился, отмечается очень небольшой положительный тренд [4]. Сравнение средней месячной температуры воздуха в январе и июле за два периода (от начала наблюдений на станции до 1960 г. [5] и за последние десятилетия) позволило выявить региональные особенности в изменении температурного режима Ямало-Ненецкого АО (рис. 1).

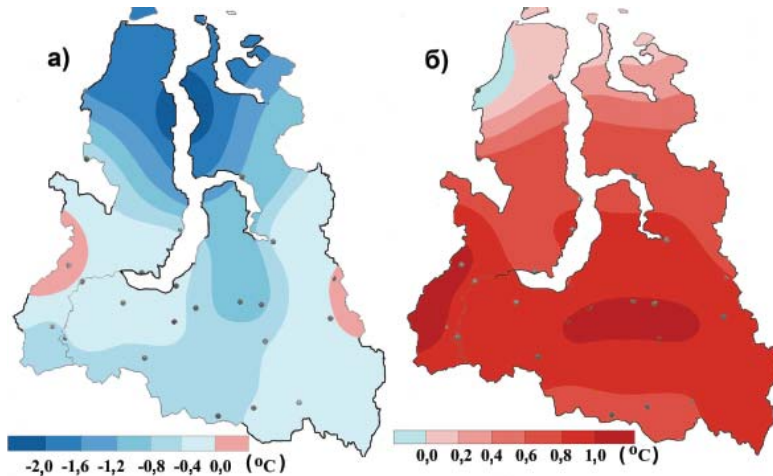


Рис. 1. Разность средней многолетней температуры воздуха за периоды от начала наблюдений на станции до 1960 г. и 1961–2007 гг. в январе (а) и июле (б).

На фоне глобального потепления, особенно заметного в зимний период, на севере региона наблюдается понижение средней месячной температуры января. В этих районах более значительным было потепление Арктики в 30–40-е годы прошлого столетия. В летний период на арктическом побережье температурный режим в последние годы практически не изменился, на остальной территории округа среднемесячная температура июля стала выше. В Ямало-Ненецком АО, как и в других северных районах России, наиболее заметное потепление в последние годы наблюдается в марте (рис. 2).

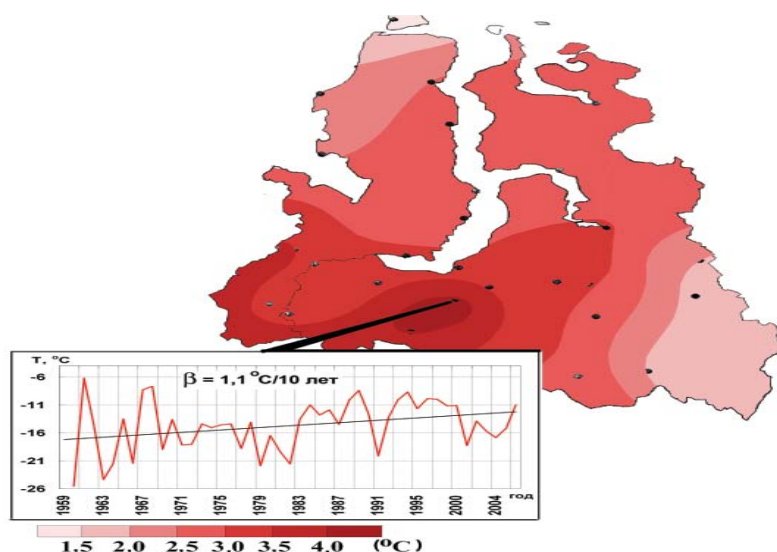


Рис. 2. Разность средней многолетней температуры воздуха за периоды от начала наблюдений на станции до 1960 г. и 1961–2007 гг. в марте. На врезке – средняя многолетняя температура воздуха в марте на ст. Надым

Низкие температуры воздуха (ниже -30°C) приводят к аварийным ситуациям на буровых установках и трубопроводах. Повторяемость сильных морозов на территории Ямало-Ненецкого АО в январе составляет по средней суточной температуре воздуха 25 – 30 % (в северных районах более 40 %), а по минимальной температуре воздуха повторяемость возрастает до 40 – 45 % (на севере 50 – 65 %). При

этом следует обратить внимание на повторяемость резких изменений температуры воздуха (более 5°C за сутки), т.к. при резких изменениях температуры увеличивается отбор газа и необходимо принимать адаптационные меры. В Ямало-Ненецком АО повторяемость резких изменений температуры воздуха особенно велика в холодный период года и составляет 25–35 %.

Потепление климата является одним из факторов, приводящих к таянию вечной мерзлоты. В связи с этим в северных районах, где все хозяйственные объекты возводятся на вечной мерзлоте, необходимо располагать климатической информацией о глубине протаивания грунта, распределении температуры по глубине. При прокладке трубопроводов важна информация о характеристиках теплового режима на уровне заложения трубопровода (0,8–1,2 м). Низкая температура почвы, большая изменчивость температуры во времени и неравномерность ее распределения вдоль трубопровода вызывает термическое напряжение труб, приводит к деформации труб и образованию свищей.

Рассмотрим годовой ход температуры почвы на глубинах на примере метеорологических станций Толька и Сидоровск. Как видно из рис. 3, на более южной станции Толька температура почвы лишь в начале года (январь–апрель) на глубине 80 см немного ниже 0°C , на глубинах 160 и 320 см температура почвы в течение всего года положительная. Максимум в годовом ходе смещается в зависимости от глубины с июля (80 см) до сентября (320 см).

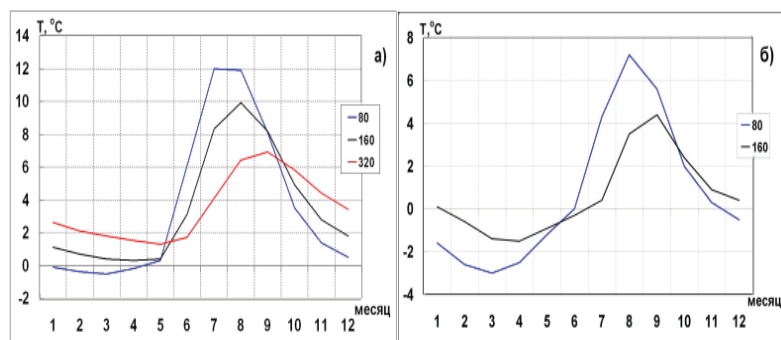


Рис. 3. Средняя месячная температура грунта на глубинах (по вытяжным термометрам) на ст. Толька (а) и ст. Сидоровск (б)

На более северной станции Сидоровск почва промерзает сильнее. Отрицательные температуры отмечаются даже на глубине 160 см с февраля по июнь. В годовом ходе минимум на глубине 80 см наблюдается в марте, на глубине 160 см – в апреле. Максимум температуры почвы на глубинах в северных районах наступает позже: в августе – на глубине 80 см, в сентябре – на глубине 160 см.

Что касается температуры поверхности почвы, то наибольшее ее повышение в последние годы на территории Ямало-Ненецкого АО, как и температуры воздуха, произошло в марте, причем наиболее заметно это повышение как раз в районах интенсивных газоразработок (Надым, Уренгой).

Серьезной проблемой для успешного и безопасного функционирования трубопроводов являются значительные температурные градиенты, которые возникают как по сечению, так и по длине трубопровода. Большинство аварий на нефтегазопроводах случаются в летнее время, когда наблюдаются максимальные перепады температур. В зимнее время остроту этой проблемы смягчает снежный покров. Первый снег в восточных районах округа появляется уже в третьей декаде сентября, на остальной территории – в первой декаде октября. Но устойчивый снежный покров образуется только через 15–20 дней (во второй–третьей декаде октября). Разрушается устойчивый снежный покров в южных районах в первой половине мая, а на севере снег лежит до третьей декады июня (см. рис. 4). Таким образом, продолжительность залегания снежного покрова составляет 205–215 дней на юге округа и 220–240 дней – на севере.

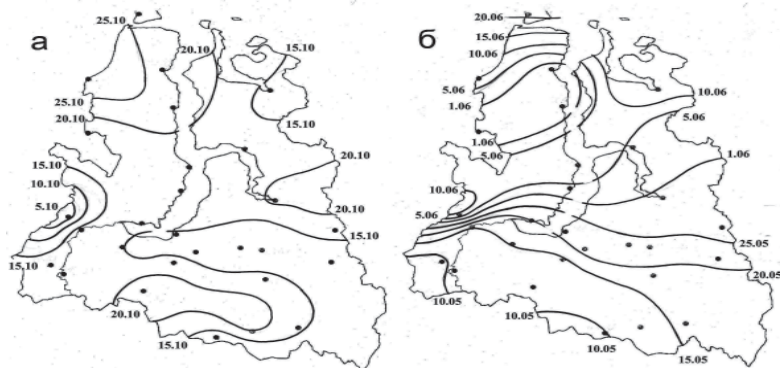


Рис. 4. Даты образования (а) и разрушения (б) устойчивого снежного покрова на территории Ямало-Ненецкого АО

В районах нефтегазовых месторождений возведены буровые установки, имеющие высоту 30 – 40 метров. Для безопасной эксплуатации таких высотных сооружений требуется специализированная климатическая информация, в частности данные о повторяемости скорости ветра выше 10, 12, 15 и 20 м/с, а также ветровые нагрузки на высотные сооружения.

Скорость ветра более 10 м/с опасна при метелях любого вида, а также при гололедных явлениях. При скорости ветра более 12 м/с по инструкциям прекращается работа подъемных кранов, а при скорости ветра более 15 м/с приостанавливаются все виды погрузочно-разгрузочных работ. При скорости ветра более 20 м/с возможны обрывы проводов, падения опор ЛЭП. Расчеты выполнены за последние 30 лет, т.е. с 1977 года. Таким образом, устранены массовые нарушения неоднородности рядов скорости ветра, вызванные сменой прибора, однако сохранен достаточный период для получения устойчивых статистических характеристик. За период 1977–2007 гг. рассчитаны повторяемости скорости ветра выше заданных пределов на метеорологических станциях Ямало-Ненецкого АО.

Анализ этих данных показывает, что на севере региона, на прибрежных станциях довольно высока повторяемость скоростей ветра более 10 и 12 м/с. Скорости ветра более 30 м/с наблюдаются очень редко. А на юге Ямало-Ненецкого АО таких ветров в последние годы не отмечалось, даже 20 м/с в этих районах превышаетея крайне редко (см. рис. 5). Особый ветровой режим характерен для станции Ра-Из, что объясняется ее значительной высотой над уровнем моря (895 м).

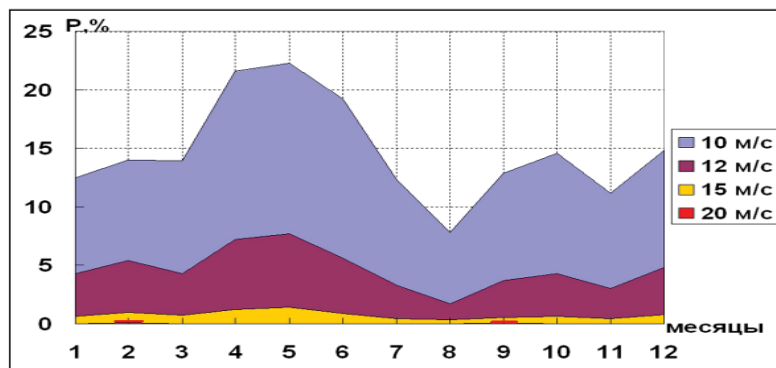


Рис. 5. Повторяемость скорости ветра выше заданных пределов на ст. Тарко-Сале

Для решения прикладных задач гораздо больший интерес представляют расчетные скорости ветра, возможные один раз в 1 год, 5, 10, 20 лет. В климатологии для определения редко наблюдаемых явлений методом статистической экстраполяции применяют различные виды экспоненциальных функций. В данной работе использовалось распределение Гудрича (третье предельное распределение, которое используют для расчета максимальных скоростей ветра) [3]. Сведения о наибольших скоростях ветра различной вероятности представлены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

Наибольшие скорости ветра различной вероятности

Индекс ВМО	Название станции	Скорость ветра, возможная один раз за			
		1 год	5 лет	10 лет	20 лет
20667	Им.Попова	29	31	32	34
20858	Харасавэй,мыс	31	34	36	38
20864	Тамбей	29	34	36	38
20963	Гыдо-Ямо	30	33	33	36
20967	Сеяха	30	32	35	37
23032	Марресалы,мыс	29	32	36	38
23058	Антипаута	29	31	33	34
23146	Каменный	32	35	36	37
23242	Новый Порт	28	30	31	32
23256	Тазовск	27	28	30	32
23330	Салехард	26	29	32	34
23331	Ра-Из	48	50	54	58
23339	Полуй	25	27	28	29
23358	Новый Уренгой	27	30	31	32
23365	Сидоровск	25	27	28	29
23431	Питляр	25	27	28	29
23443	Пангоды	24	26	26	27
23445	Надым	22	24	25	26
23453	Уренгой	24	26	27	28
23552	Тарко-Сале, ОГМС	24	25	26	27
23656	Халесовая	21	24	25	26
23662	Толька	22	24	25	26

Метеорологические нагрузки оказывают негативное влияние на различные объекты, приводя к ускоренному старению сооружений, а иногда и к их разрушению. Для высотных сооружений, к которым относятся буровые установки, компрессорные станции, основной метеорологической нагрузкой является ветровая.

Для каждого месяца для нормальных условий температуры ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) и давления (760 мм Hg) рассчитана ветровая нагрузка [3]:

$$q = \rho v^2 / 2g,$$

где ρ – плотность воздуха ($1,293\text{ кг/м}^3$), g – ускорение силы тяжести, равное $9,8\text{ м/с}^2$, v – расчетная скорость ветра (м/с).

За расчетную скорость ветра приняты значения абсолютного максимума мгновенной скорости ветра для каждого месяца.

Распределение ветровых нагрузок на территории Ямало-Ненецкого АО имеет не только географические, но и сезонные особенности. На рисунке 6 представлены пространственные распределения ветровых нагрузок в центральные месяцы сезонов. Следует заметить, что данные станции Ра-Из не учитывались при пространственном анализе, т. к. она находится на значительной высоте и имеет особый ветровой режим. Ветровые нагрузки на этой станции в течение всего года превышают 100 кгс/м^2 .

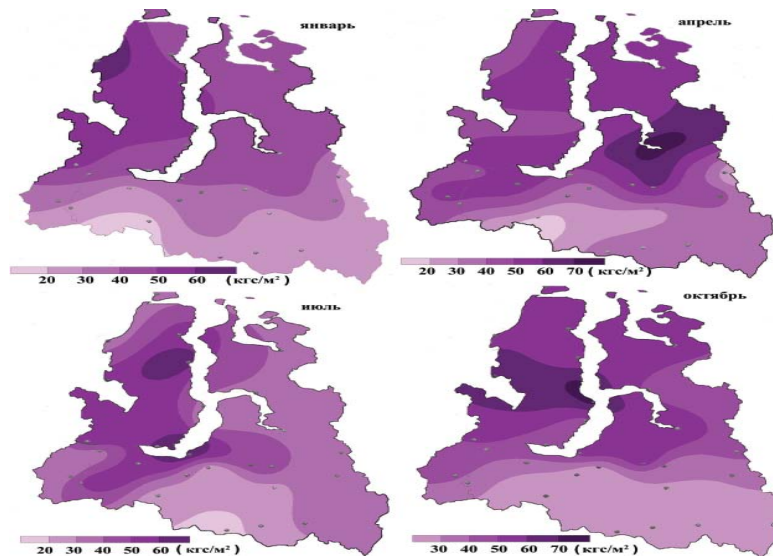


Рис. 6. Распределение ветровых нагрузок на территории Ямало-Ненецкого АО в центральные месяцы сезонов

В январе наибольшие ветровые нагрузки испытывают сооружения в северо-западных районах округа, что связано с направлением ведущего воздушного потока в это время года. К югу значения ветровых нагрузок уменьшаются. В апреле с ослаблением западного переноса и усилением влияния прогревающего материка увеличиваются ветровые нагрузки в центральных и восточных районах округа. Минимальные ветровые нагрузки, как и в январе, наблюдаются на юго-западе. Летом максимальные ветровые нагрузки отмечены на станциях, расположенных на северном и южном побережьях Обской губы. К востоку и югу значения ветровых нагрузок уменьшаются. В октябре с началом перестройки атмосферных процессов на зимний режим изменяется и распределение ветровых нагрузок. Максимальные значения вновь смещаются на северо-запад, хотя довольно высокие ветровые нагрузки испытывают сооружения на всем побережье Обской и Тазовской губ.

На работы по разведке и добыче нефти и газа влияют все климатические факторы, усложняющие проведение работ на открытом воздухе. В качестве параметра, учитывающего влияние условий погоды на возможность пребывания человека на открытом воздухе, использовался такой биоклиматический показатель, как индекс суровости погоды по Бодману. Этот показатель, учитывает влияние температуры воздуха и скорости ветра и рассчитывается по формуле [2]:

$$B=(1-0,04t)(1+0,272v),$$

где t – среднесуточная температура воздуха в градусах Цельсия;
 v – скорость ветра (м/с).

В зависимости от величины индекса выделяют различные типы погоды: $B < 1$ – несуровая погода; $1 < B < 2$ – мало суровая погода; $2 < B < 3$ – умеренно суровая погода; $3 < B < 4$ – суровая погода; $4 < B < 5$ – очень суровая погода; $5 < B < 6$ – жестко суровая погода; $B > 6$ – крайне суровая погода.

За холодный период года (октябрь–апрель) рассчитано число дней с различной степенью суровости погоды по Бодману и отнормировано на общее число дней в холодном периоде. Этот показатель использовался для районирования территории Ямало-Ненецкого АО по степени суровости погоды. В округе выделено четыре района. Северная половина региона относится к району с крайне суровой погодой (рис. 7).



Рис. 7. Районирование территории Ямало-Ненецкого АО по степени суровости погоды (по индексу Бодмана)

Работы на газо-и нефтеразработках запрещаются при грозах, поэтому важными специализированными характеристиками служат повторяемость и продолжительность гроз.

В инфраструктуру нефтегазового сектора энергетики в Ямало-Ненецком АО входит и морская транспортная система, которая, помимо подводных трубопроводов, включает береговые насосно-перекачивающие станции, отгрузочные терминалы, танкерный и вспомогательный флот и плавучие нефтехранилища. Условия работы этих объектов сильно ухудшаются или приостанавливаются при туманах, которые в Арктике при определенных условиях искажают очертания предметов и расстояния до них. Необходимо в дальнейшем провести исследование этих и других явлений, которые в данной статье не рассматриваются, но являются важными для данного региона.

Заключение

Современная экономика становится все более зависимой от погодных и климатических условий, особенно в таких отраслях, как сельское хозяйство, энергетика, транспорт, строительство, поэтому учет климатических факторов и их изменений в последние годы важен для принятия правильных и рациональных хозяйственных решений, для обеспечения безопасного труда и комфортного проживания людей.

Прикладные климатические исследования и их результаты должны быть адресными, направленными на выполнение конкретных задач в различных отраслях экономики. В данной работе получены новые, с учетом данных метеорологических наблюдений за последние годы, сведения о специализированных климатических характеристиках, необходимых для безопасного и бесперебойного функционирования нефтегазового сектора энергетики в Ямало-Ненецком автономном округе.

Литература

1. Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики / Под ред. Н.В. Кобышевой. – СПб, 2008. – 335 с.
2. Исаев А. А. Экологическая климатология. – М.: Научный мир, 2001. – 458 с.
3. Заварина М. В. Строительная климатология. – Л.: Гидрометеиздат, 1976, 312 с.
4. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Кузнецова В.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т. Анализ изменчивости климата на территории России в последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2000. – Вып. 167. – С. 3–15.
5. Справочник по климату СССР. Температура воздуха и почвы. Вып. 17. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 276 с.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЖИМА ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Наблюдаемый климат описывается многими параметрами, из которых атмосферная влага или водяной пар является важнейшей характеристикой, играя большую роль в формировании климата и водного режима суши. Водяной пар, являясь основным поглотителем как солнечной, так и земной радиации, оказывает существенное влияние на тепловой режим земной поверхности и атмосферы. Фазовые состояния и фазовые переходы водяного пара формируют облака, туманы, осадки, влияя на погоду и климат в целом. Поэтому водяной пар в воздухе или влажность воздуха можно рассматривать как один из основных элементов погоды и индикаторов изменения климата.

В большинстве работ последних лет, посвященных исследованию изменений климата, в качестве основного индикатора изменения климата использовалась температура воздуха, которая, безусловно, является одной из главных характеристик климатической системы.

Факт повышения глобальной температуры воздуха уже не подлежит сомнению. Это отмечено в работах отечественных и зарубежных авторов, занимающихся изучением данного вопроса [2,3,10 и др.]. Продолжающееся глобальное потепление климата сопровождается потеплением и на территории России. Региональные повышения температуры воздуха отмечены как для территории России [1,2], так и для Европы в целом [10]. В последних работах довольно детально рассмотрена интенсивность потепления, которая составляет за последние 100 лет в среднем для территории России $0,9^{\circ}\text{C}$. Возникает вопрос, как изменяются другие климатические характеристики, в том числе и влажность воздуха, на фоне глобального потепления. Изучению такого важного климатообразующего фактора, как влажность воздуха, уделялось мало внимания. Есть работы, посвященные изменению режима влажности на высотах [8] и изменению характеристик влажности воздуха на территории бывшего СССР за ранние годы наблюдений [4,5]. В работе [7] проведен анализ распределения относительной

влажности при различных формах облачности. Оценка изменения влагооборота при колебаниях климата дана в работе [6].

Данная работа посвящена исследованию изменений характеристик влажности на территории России в последние десятилетия.

Содержание водяного пара в атмосферном воздухе – влажность воздуха – характеризуется несколькими показателями: упругостью водяного пара или парциальным (частичным) давлением водяного пара, относительной влажностью воздуха, дефицитом насыщения и температурой точки росы.

Рассмотрим изменение упругости водяного пара или парциального давления водяного пара (далее – как влажность воздуха), которое представляет собой давление водяного пара в воздухе, выраженное в гектопаскалях или в миллибарах (mb).

Для расчета было выбрано 1 765 станций России, имеющих в большинстве своем ряды с 1939 по 2007 г. Вся информация прошла контроль, корректировку и пополнение имеющихся пропусков.

Исследование изменений влажности проводилось на основе эмпирико-статистического анализа временных рядов среднемесячного парциального давления водяного пара. Для пространственного осреднения использовались аномалии влажности воздуха (Δe). Аномалии (отклонения наблюдаемых значений от «нормы») рассчитывались от нормы за период 1961–1990 годов.

Для сезонных и среднегодовых аномалий парциального давления водяного пара рассчитывались коэффициенты линейного тренда (β). Тренды рассчитывались по уравнению линейной регрессии [11]. Значимость коэффициентов линейного тренда оценивалась по критерию Стьюдента [11].

Рассмотрим средние для территории России сезонные аномалии парциального давления водяного пара (рис.1). Во всех сезонах года в рядах аномалий влажности наблюдается положительный тренд. Максимальная положительная тенденция наблюдается в летние месяцы и составляет 0,09 mb/10 лет. В переходные сезоны и зимой также наблюдается небольшое увеличение влажности воздуха в масштабах всей страны.

Между температурой и влажностью воздуха существует прямая функциональная зависимость [6]. Однако эта зависимость существенно ослабевает в зависимости от сезона года, климатичес-

кого и географического района, условий циркуляции, подстилающей поверхности и ряда других факторов, то есть в зависимости от того, в каких условиях происходит повышение температуры, связь увлажнения с температурой может быть прямой, обратной или совсем отсутствовать. Более детально описать все изменения, происходящие в режиме влажности на территории России, можно, лишь приступив к анализу сезонных и годовых аномалий влажности воздуха в различных регионах страны.

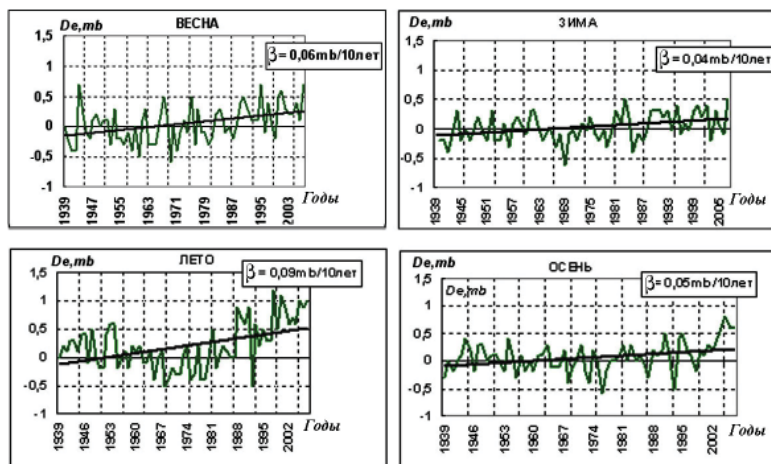


Рис. 1. Сезонные аномалии парциального давления водяного пара, осредненные по территории России за период 1939–2007 гг.

Рассмотрим далее сезонные изменения аномалий парциального давления водяного пара в семи квазиоднородных климатических районах. Районирование проведено с учетом климатогеографических особенностей территории в сочетании с административно-территориальным делением. Подробно описание и карта-схема районов помещены на сайте ВНИИГМИ-МЦД (http://meteo.ru/climate_var/sp.php).

На рис. 2 представлены временные ряды аномалий парциального давления водяного пара по квазиоднородным районам России, осредненных за зиму. Зимой на большей части территории России видна небольшая тенденция увеличения парциального давления водяного пара. Наибольшие значения коэффициента линейного

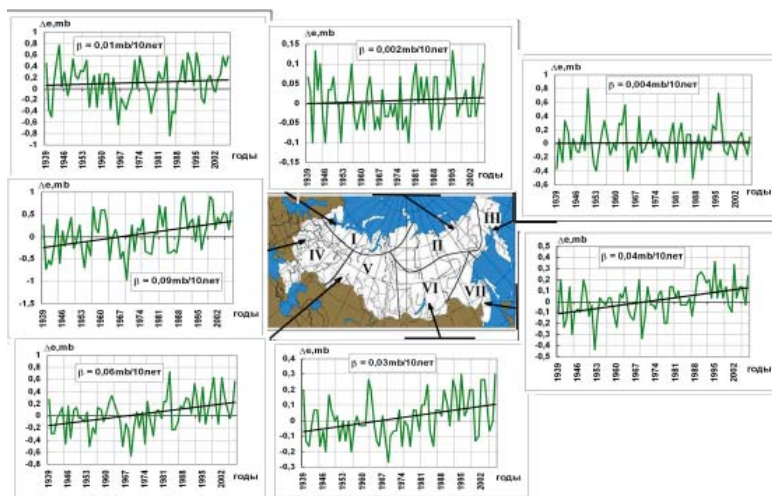


Рис. 2. Аномалии осредненного по территории квазиоднородных климатических районов среднего за зиму (декабрь–февраль) парциального давления водяного пара за период 1939–2007 гг.

тренда наблюдаются в центральной части ЕТР, Западной Сибири и на Алтае (районы 4 и 5) – 0,09 и 0,06 mb /10 лет соответственно, с 1–5 % уровнем значимости. В северных районах ЕТР, арктических районах Сибири и Чукотки (районы 1,2 и 3) коэффициенты незначимы ($\beta = 0,002\text{--}0,01$ mb/10лет). Характерно, что в этих районах зимой также наблюдается лишь незначительный рост температуры воздуха и даже уменьшение количества осадков [1,9]. В целом важно отметить, что существенное зимнее повышение температуры воздуха [1,2], особенно в районах 4 и 5, сопровождается также увеличением влажности. Исключение составляют лишь территории Восточной Сибири и Забайкалья (район 6) где, несмотря на значительное повышение температуры воздуха, влажность увеличивается мало. Возможно, это связано с антициклональной погодой и другими циркуляционными особенностями, свойственными этому району.

Весной наблюдается довольно ровный небольшой рост парциального давления водяного пара по всем климатическим районам. Уровень значимости β равен 1–10 % для всех районов России. На Европейской территории России положительные значения коэффициента линейного тренда составляют: от 0,05 mb/10 лет на

севере(район 1) до 0,08 mb/10 лет на юге (район 4); в арктических районах Западной и Восточной Сибири и Чукотки (районы 2,3) от 0,02 до 0,03 mb/10лет. Наибольший рост влажности отмечается в районах Дальнего Востока, Забайкалья, Якутии (районы 6 и 7) – до 0,06 mb/10лет. В этих районах максимальные тенденции увеличения влажности воздуха наблюдаются именно весной.

На остальной территории России наибольшее увеличение влажности наблюдается летом (рис.3). Наибольшие положительные тенденции изменения парциального давления водяного пара приходятся на Европейскую часть России и Западную Сибирь (районы 4 и 5): здесь коэффициенты линейного тренда самые высокие и колеблются от 0,1 до 0,15 mb/10лет. В арктических районах Европейской части России, Западной и Восточной Сибири и Чукотки и Камчатки (районы 1,2 и 3) значения β колеблются от 0,06 до 0,09 mb/10лет. Для лета значимые β (с 5% уровнем значимости) наблюдаются во 2–5-м районах, в остальных районах полученные коэффициенты линейного тренда незначимы. Значительное летнее увеличение влажности объясняется увеличением испарения, которое в связи с повышением температуры

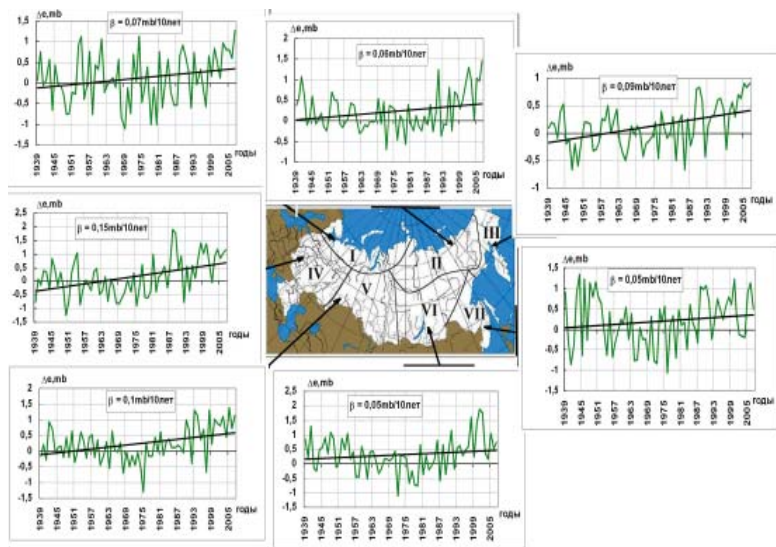


Рис.3 Аномалии осредненного по территории квазиоднородных климатических районов среднего за лето (июнь – август) парциального давления водяного пара

воздуха дополнительно насыщает воздух водяным паром. Лишь в районах с недостаточным увлажнением (район 6) и высокими скоростями ветра (район 6 и 7), сопровождающимися усилением турбулентного обмена, максимум увлажнения приходится на более влажный весенний сезон.

Изменение парциального давления водяного пара в различных регионах России в осенний сезон несущественно отличается от летнего. Тенденция увеличения влажности осенью сохраняется. Значимые тренды, выявленные на Европейской территории России, Сибири и Чукотки (районы 3,4,5), достигают значений 0,1–0,06 mb за десятилетие.

Характер изменения парциального давления по квазиоднородным районам России в среднем за год (см. рис. 4) аналогичен летнему распределению. На представленных графиках по всем климатическим районам хорошо видна тенденция увеличения влажности за год в целом. Значения коэффициентов линейного тренда колеблются от 0,1 mb /10лет на Европейской территории России (район 4) до значений 0,02 mb /10лет на арктических территориях ЕТР, Западной и Восточной Сибири (район 2). На

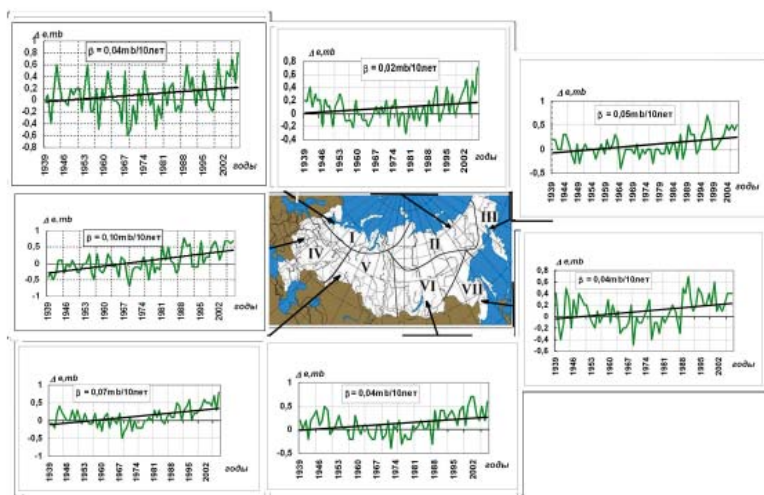


Рис.4. Аномалии, осредненные по квазиоднородным климатическим районам, среднего за год парциального давления водяного пара за период 1939–2007 гг.

остальной территории страны наблюдается довольно ровный рост влажности: он составляет около 0,04–0,05 mb за десятилетие. Значимость трендов для всех климатических районов России сохраняется на уровне 1–5 %.

Для выявления наличия зависимости между температурой и влажностью воздуха, базирующейся на известном физическом механизме и лежащей в основе этой связи [12] между временными рядами аномалий температуры и влажности воздуха для всех климатических квазиоднородных районов России по сезонам и за год, рассчитан коэффициент линейной корреляции r [11] (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициент линейной корреляции (r) между рядами аномалий температуры воздуха и аномалий парциального давления водяного пара за период 1939–2007 гг. по климатическим квазиоднородным районам России

Сезон	Район						
	1	2	3	4	5	6	7
Зима	0,89	0,67	0,82	0,91	0,88	0,83	0,82
Весна	0,79	0,81	0,82	0,75	0,76	0,77	0,70
Лето	0,80	0,72	0,79	0,48	0,50	0,72	0,72
Осень	0,80	0,73	0,77	0,75	0,65	0,61	0,50
Год	0,78	0,67	0,74	0,69	0,57	0,52	0,58

Как видно из таблицы, положительные высокие значения коэффициента корреляции между температурой и парциальным давлением водяного пара подтверждают тесную взаимосвязь между ними. Наиболее значимая корреляция приходится на зимний и весенний сезоны: r равен 0,9–0,7 по всей территории России. Почти такая же высокая корреляция сохраняется на северных и восточных территориях России (районы 1–3) летом и осенью. На остальной территории связь между элементами в эти сезоны ослабевает, хотя остается значимой (r равняется 0,5–0,7). Причина летнего ослабления корреляции связана, возможно, с влиянием таких противоположных факторов, как испарение и турбулентный обмен, которые летом усиливаются и влияют по-разному на эти элементы, ослабляя связь между ними.

Для примера характера связи изменений влажности воздуха с изменениями температуры воздуха по двум районам России, где наблюдается наибольшее увеличение влажности и значимые тренды во всех сезонах (район 4 и 5) на рисунке 5 приведены совместные графики многолетнего хода осредненных за год аномалий температуры и влажности воздуха и их тренды. Из рисунка видно, что по данным с 1939 гг. по настоящее время в аномалиях температуры и влажности воздуха наблюдается устойчивый положительный тренд: для температуры $0,2^\circ\text{C}/10\text{лет}$, для влажности $0,1\text{ mb}/10\text{лет}$. Сравнение многолетнего хода аномалий температуры воздуха и влажности воздуха показывает их хорошую согласованность и синхронность. Колебания, происходящие в рядах аномалий температуры, вызывают те же колебания в рядах аномалий влажности только с меньшей амплитудой.

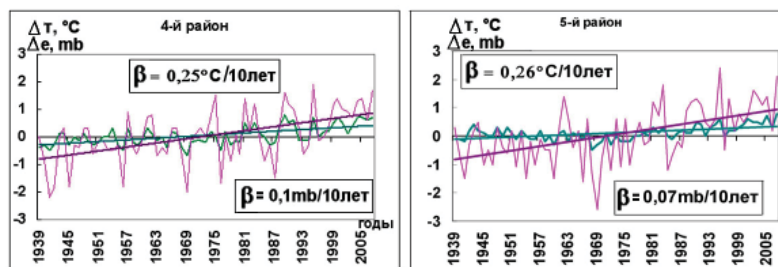


Рис. 5. Многолетний ход аномалий осредненных за год среднемесячной температуры и влажности воздуха по территории отдельных квазиоднородных районов России: — температура воздуха; — влажность воздуха

Анализ временных рядов влажности позволяет сделать вывод о наличии внутри рассматриваемого периода участков, на которых наблюдаются тенденции изменения разного знака. В работе [10] автором при анализе изменений глобальной температуры было выделено два периода: период похолодания 1940–1965 гг. и период потепления 1966–1977 гг. (последний год периода объясняется наличием данных на тот момент времени). Рассмотрим, как менялась влажность воздуха в период похолодания. В таблице 2 представлена тенденция изменения аномалий влажности внутри периода похолодания 1939–1965 годов.

Таблица 2

Тенденция изменения аномалий парциального давления водяного пара, осредненных за год по климатическим квазиоднородным районам (коэффициент линейного тренда в $\text{mb}/10\text{лет}$, уровень значимости 1–5 %). Период 1939–1965 гг.

Период	Район						
	1	2	3	4	5	6	7
1939–1965 гг.	-0,001*	-0,13	-0,05*	0,001*	-0,05*	-0,1	-0,03*

* Отмечены незначимые коэффициенты линейного тренда.

Анализируя табличные данные видно, что для периода с 1939 по 1965 год характерно понижение влажности. Коэффициент линейного тренда этой части ряда для большинства районов России принимает отрицательные значения: от -0,13 до -0,001 $\text{mb}/10\text{лет}$ в зависимости от района. Исключение составляет лишь 4-й район, в котором наблюдается небольшое увеличение влажности. Таким образом, обнаруженное понижение влажности согласуется с понижением температуры воздуха, отмеченное за этот же период [10]. Однако наибольший интерес представляет период современных изменений климата. Рассмотрим изменение влажности воздуха за последние десятилетия начиная с 1966 года (табл. 3).

Таблица 3

Тенденция изменения аномалий парциального давления водяного пара, осредненных за год по климатическим квазиоднородным районам России (коэффициент линейного тренда в $\text{mb}/10\text{лет}$, уровень значимости 1–5 %).

Период 1966 – 2007 гг.

Период	Район						
	1	2	3	4	5	6	7
1966–2007 гг.	0,1	0,09	0,12	0,17	0,16	0,14	0,13

Из таблицы видно, что с середины 60-х годов прошлого столетия до настоящего времени наблюдается увеличение влажности. Во всех районах России наблюдается положительная тенденция изменения аномалий влажности воздуха: коэффициент линейного тренда изменяется от 0,09 до 0,17 $\text{mb}/10\text{лет}$ в зависимости от района. Таким образом, оценки

изменения влажности для последнего периода указывают на более существенное увеличение влажности в последние годы, чем с учетом всего периода (см. рис.4). Аналогичная тенденция в изменении температуры воздуха отмечена во многих работах отечественных и зарубежных авторов [2,3,10 и др.].

Полученные материалы, характеризующие изменение влажности воздуха за период с 1939 г. по настоящее время, позволяют сделать вполне определенный вывод о том, что до середины 60-х годов наблюдалось небольшое уменьшение влажности, после чего наблюдается ее увеличение по всей территории России и за все сезоны года. Отмечены некоторые региональные особенности в изменении режима влажности по сезонам. Показана прямая зависимость изменений влажности воздуха и температуры.

Литература

1. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Кузнецова В.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т. Анализ изменчивости климата на территории России в последние десятилетия // Труды ВНИИГМИ-МЦД.–2000.–Вып.167.–С. 3–15.
2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояния изменчивости и экстремальности климата. Всемирная конференция по изменению климата. Москва. 29 сентября – 3 октября 2003г. // Труды конференции.–М.: Паблик принт, 2004.–С. 101–110.
3. Шерстюков Б.Г. Парниковый эффект и изменение теплообмена между океаном и атмосферой как факторы современных изменений климата // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2007. – Вып.173. – С. 3–36.
4. Булыгина О.Н., Дудина Н.В., Корулина Л.Г., Кузнецова В.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т. Изменчивость климата на территории бывшего СССР в 1931–1990 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1996. – Вып. 161. – С. 9–14.
5. Кузнецова В.Н., Булыгина О.Н. Изменчивость режима влажности на территории бывшего СССР за период 1931–1990 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД – 1996. – Вып.162.–С. 21–26.
6. Дроздов О.А., Малкова И.В. Возможные изменения влагооборота при потеплении климата // Труды ГГИ. – 1981. – Вып. 271. – С. 3–10.
7. Черных И.В. Распределение приземной относительной влажности при наличии некоторых форм облачности // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2000. – Вып.167.–С. 95–107.

8. Алдухов О.А., Черных И.В. Об изменении температурно-влажностного режима в тропосфере над антарктическим полуостровом // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2007. – Вып.173. – С.266–291.

9. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н., Шаймарданов М.З., Щвец Н.В. Изменчивость экстремальных климатических явлений на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2000. – Вып.167. – С. 16–31.

10. Винников К.Я., Ковынева Н.П. Современные изменения термического режима Северного полушария // Труды ГГИ. – 1981. – Вып.271. – С. 11–23.

11. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. – Л.: Гидрометеониздат, 1972. – С. 125–135.

12. Психрометрические таблицы. – Л.: Гидрометеониздат, 1972. – 233 с.

ВОЛНЫ ТЕПЛА И ХОЛОДА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Термин «волны холода / тепла» возник в связи с проводившимися еще в конце XIX века исследованиями областей холодного (теплого) воздуха, которые после своего зарождения в северо-западных районах континента (как Европы, так и Северной Америки) перемещаются в юго-восточном направлении, подобно волне [8]. При прохождении волны холода / тепла изменения среднесуточной температуры воздуха на графиках носят волнообразный характер, в связи с чем волнами тепла и холода называют также периоды значительного потепления или похолодания [7]. Отклонения средней суточной температуры воздуха от среднеемноголетних значений («норм») в течение этих периодов превышают некоторые критические значения. Например, при описании климатических условий средней полосы России отмечается, что при волнах тепла и холода в Московской области отклонения среднесуточной температуры воздуха от нормы составляют в марте не менее 5 °C, в сентябре 3 °C [4]. Эти значения близки к оценкам среднеквадратических отклонений среднесуточной температуры воздуха для соответствующих месяцев.

При изучении влияния метеорологических условий на показатели смертности населения в Москве под волной тепла (холода) понимался период времени, состоящий из последовательных суток с экстремально высокой (низкой) температурой [6]. В качестве пороговых значений температуры, определяющих уровень, выше (ниже) которого значения температуры считаются экстремально высокими (низкими), авторами взяты границы интервала $2s$ (где s – среднеквадратическое отклонение среднесуточной температуры в соответствующий месяц в 1961–1990 гг.): верхняя для летних месяцев и нижняя – для зимних.

При исследовании потеплений и похолоданий в Украине в теплый период года волны тепла и холода идентифицировались как резкий перепад среднесуточной температуры воздуха величиной 6 – 10 °C в сторону повышения или понижения на более 80 % территории Украины и подразделялись на кратковременные, длительностью 2–4 суток, и длительные, продолжительностью более недели [5].

Приведенные примеры показывают, что общепризнанного критерия выделения волн тепла и холода нет. И это вполне объяснимо, так как в зависимости от задачи научного исследования либо практического обслуживания хозяйственной деятельности наибольший интерес могут представлять волны определенной интенсивности или продолжительности.

Целью настоящей работы является исследование волн тепла и холода как периодов локального потепления/похолодания. Для их выделения использовался алгоритм, предложенный для идентификации эпизодов блокирования [1] и реализованный в Институте глобального климата и экологии Росгидромета и РАН (ИГКЭ) [3]. Этот алгоритм построен на анализе временного ряда некоторой физической величины x_t в точке, в нашем исследовании это – температура воздуха на станции. За один случай потепления (похолодания) принимался отрезок временного ряда x_t длиной VD , удовлетворяющий следующим условиям:

- величина x_t должна быть не менее (не более) заданного критического значения C_0 ;
- внутри отрезка допускается нарушение этого условия в течение периода, длина которого не превышает заданное критическое значение T_w ;
- длина отрезка должна быть не меньше заданного критического значения T_0 .

Для проведения исследования использовались данные среднесуточной температуры воздуха за период 1948–2006 гг. из информационно-аналитической базы мониторинга климата ИГКЭ [2]. Для расчетов выбраны 14 станций, расположенных на территории Европейской части России и Западной Сибири (от 21 до 93° в. д.) в широтном поясе 55–57° с. ш. Предварительно значения температуры были преобразованы в ряды нормированных аномалий – отклонений от средних многолетних значений E , деленных на среднеквадратическое отклонение σ , причем статистики (E и σ) рассчитывались для каждых суток (за период 1951–2000 гг.), а затем сглаживались скользящим 31-дневным осреднением.

Для экспериментального счета был выбран зимний сезон, при этом календарный сезон был продлен на 15 дней «назад» и «вперед» для того, чтобы выявить волны, начинающиеся вне данного сезона, и таким образом включал даты с 16 ноября по

16 марта. Проведено 9 вариантов счета с различным сочетанием трех параметров, определяющих выделение периода потепления или похолодания: C_0 , T_0 и T_w (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Варианты экспериментального счета

C_0	$T_0 (T_w)$		
	3 (0)	5 (0)	5 (1)
0,5 σ	1	2	3
1,0 σ	4	5	6
1,5 σ	7	8	9

П р и м е ч а н и е. Условные обозначения см. в тексте.

Полученное для каждого варианта счета число волн тепла и холода (в целом для всех 14 рассматриваемых станций за период 1949–2006 гг.) приведено в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Общее число волн тепла и холода на 14 станциях
в зимние сезоны 1949–2006 гг. для различных вариантов счета

C_0	$T_0 (T_w)$		
	3 (0)	5 (0)	5 (1)
Волны тепла			
0,5 σ	3422	1890	2086
1,0 σ	1536	570	801
1,5 σ	218	43	81
Волны холода			
0,5 σ	2898	1472	1699
1,0 σ	1720	702	887
1,5 σ	823	310	388

Для каждой волны определялись ее индивидуальные характеристики: продолжительность VD , интенсивность VM (суммарное за время VD превышение значения C_0), средняя интенсивность $VI=VM/VD$, амплитуда $VA=\max\{x_t - C_0\}$. А для каждого сезона

рассчитывались интегральные характеристики: число волн тепла (холода) NW , их суммарная продолжительность TD и суммарная интенсивность TI , средняя продолжительность ED и средняя амплитуда EA волн и др.

В табл. 3 приведены средние многолетние значения основных характеристик температурного режима зимнего сезона для всех 9 вариантов экспериментального счета, а в табл. 4 – распределение числа волн по градациям продолжительности при различных значениях критерия C_0 для вариантов счета 1, 4, 7 ($T_0=3$, $T_w=0$). Как видно из приведенных оценок, параметры волн и характеристики температурного режима сезонов существенно зависят от критериев C_0 и T_0 и в несколько меньшей степени от критерия T_w . Для дальнейших расчетов был выбран вариант 4: «средний» по критерию C_0 ($C_0 = 1,0 \sigma$) и имеющий минимальную продолжительность волн 3 дня, что позволяет рассматривать как кратковременные, так и продолжительные периоды потеплений и похолоданий.

Т а б л и ц а 3

Статистические характеристики температурного режима зимнего сезона в среднем по 14 станциям, 1949–2006 гг.

Вариант счета	Волны тепла					Волны холода				
	ED	EA	NW	TD	TI	ED	EA	NW	TD	TI
1	7,2	0,8	4,4	32,0	15,2	6,8	1,3	3,7	26,0	19,4
2	8,6	0,8	2,4	23,4	12,1	8,1	1,3	1,9	17,9	15,2
3	10,3	0,9	2,7	28,8	12,8	9,6	1,4	2,2	22,9	16,9
4	4,4	0,4	2,0	11,1	3,4	5,1	1,0	2,2	13,4	8,8
5	3,7	0,3	0,7	5,8	2,0	4,9	0,8	0,9	7,8	6,0
6	5,2	0,4	1,0	9,0	2,6	6,3	0,9	1,1	10,6	7,0
7	0,9	0,1	0,3	1,3	0,3	3,3	0,6	1,0	6,0	3,4
8	0,3	0,0	0,1	0,4	0,1	2,5	0,4	0,4	3,2	2,2
9	0,6	0,0	0,1	0,8	0,1	3,1	0,4	0,5	4,2	2,4

П р и м е ч а н и я : ED – средняя сезонная продолжительность волн, EA – средняя сезонная амплитуда волн, NW – число волн за сезон, TD – суммарная продолжительность волн, TI – суммарная интенсивность волн.

Т а б л и ц а 4

Повторяемость волн тепла и холода различной
продолжительности, зима

Градации продолжи- тельности	$C_0 = 0,5 \sigma$		$C_0 = 1,0 \sigma$		$C_0 = 1,5 \sigma$	
	Волны тепла					
	N	P	N	P	N	P
1 (≤ 5 дней)	1220	35,7	824	53,6	162	74,0
2	956	27,9	437	28,5	39	17,8
3	642	18,8	173	11,3	13	5,9
4	383	11,2	86	5,6	5	2,3
5	149	4,4	9	0,6	–	–
6	49	1,4	5	0,3	–	–
7	12	0,4	2	0,1	–	–
8 (> 30 дней)	11	0,3	–	–	–	–
	Волны холода					
	N	P	N	P	N	P
1 ($\leq$ дней)	1126	38,8	850	49,4	458	55,6
2	789	27,2	451	26,2	182	22,1
3	500	17,2	235	13,7	129	15,7
4	332	11,5	143	8,3	49	5,9
5	105	3,6	39	2,3	6	0,7
6	42	1,4	3	0,2	–	–
7	5	0,2	–	–	–	–
8 (> 30 дней)	–	–	–	–	–	–

Примечания: N – число случаев, P – процент от общего числа случаев.
Верхние границы градаций: 1 – 5, 2 – 7, 3 – 10, 4 – 15, 5 – 20, 6 – 25, 7 – 30 дней.

В табл. 5 приведены сведения о повторяемости волн тепла и холода различной продолжительности. Как видно из таблицы, при выбранном способе идентификации волн их суммарное число в зависимости от сезона изменяется не очень существенно. Критерий T_w , определяющий продолжительность периода возможного ослабления интенсивности волны, был задан равным 0. Его изменение на значение, равное одному дню, приводит к неоднозначным результатам: в одни сезоны суммарное число волн увеличивается, в другие – уменьшается. Увеличение T_w до двух дней при минимальной длине волны 3 дня представляется лишенным смысла. Поэтому было решено оставить $T_w = 0$.

Т а б л и ц а 5

Суммарное число (а) и повторяемость (б) волн тепла и холода
на 14 станциях за период 1949–2006 гг.: $C_0 = 1,0 \sigma$, $T_0 = 3$ дня, $T_w = 0$
а)

Градации продолжительности	Зима	Весна	Лето	Осень
	Волны тепла			
Всего	1536	1684	1930	1761
1 ($\leq$ дней)	824	818	894	900
2	437	459	540	516
3	173	249	308	230
4	86	138	157	93
5	9	19	24	18
6	5	1	5	4
7 (>25 дней)	2	–	2	–
	Волны холода			
Всего	1720	1589	1707	1700
1 (≤ 5 дней)	850	770	877	894
2	451	465	521	472
3	235	229	247	228
4	143	109	52	82
5	39	12	10	21
6	3	4	–	3
7 (>25 дней)	–	1	–	–

б)

Градации продолжительности	Зима	Весна	Лето	Осень
	Волны тепла			
1 (≤ 5 дней)	53,6	48,6	46,3	51,1
2	28,5	27,3	28,0	29,3
3	11,3	14,8	16,0	13,1
4	5,6	8,2	8,1	5,3
5	0,6	1,1	1,2	1,0
6	0,3	0,1	0,3	0,2
7 (>25 дней)	0,1	–	0,2	–

Окончание табл. 5

Градации продолжительности	Зима	Весна	Лето	Осень
	Волны холода			
1 (≤ 5 дней)	49,4	48,4	51,4	52,6
2	26,2	29,2	30,5	27,8
3	13,7	14,4	14,5	13,4
4	8,3	6,9	3,0	4,8
5	2,3	0,8	0,6	1,2
6	0,2	0,3	–	0,2
7 (> 25 дней)	–	0,1	–	–

Примечание. Верхние границы градаций: 1 – 5; 2 – 7; 3 – 10; 4 – 15; 5 – 20; 6 – 25 дней.

В летний сезон непродолжительные волны тепла имеют наименьшую повторяемость по сравнению с другими сезонами, а наиболее продолжительные – отмечаются как летом, так и зимой. Наибольшая продолжительность волн холода приходится на весну.

Из табл. 6 видно, что волны тепла имеют наибольшие значения средней продолжительности и характеристик интенсивности в летний сезон, а волны холода – в зимний. При этом температурный режим летнего сезона характеризуется повышенной повторяемостью волн тепла и наибольшими значениями их суммарной продолжительности TD и интенсивности TI (табл. 7). Средняя

Т а б л и ц а 6

Сезонные характеристики волн тепла и холода
в среднем по 14 станциям, 1949–2006 гг.

Сезон	Волны тепла				Волны холода			
	VD	VM	VI	VA	VD	VM	VI	VA
Зима	5,6	1,7	0,3	0,6	6,1	4,0	0,6	1,2
Весна	6,0	2,8	0,4	0,8	5,9	3,2	0,5	1,0
Лето	6,1	3,2	0,5	0,9	5,5	2,5	0,4	0,9
Осень	5,7	2,5	0,4	0,8	5,7	3,2	0,5	1,0

Примечание. Условные обозначения см. в табл. 3.

повторяемость волн холода мало изменяется в зависимости от сезона, но наибольшие значения их среднесезонной суммарной продолжительности и интенсивности наблюдаются зимой.

Т а б л и ц а 7

Статистические характеристики температурного режима сезонов
в среднем по 14 станциям, 1949–2006 гг.

Сезон	Волны тепла			Волны холода		
	<i>NW</i>	<i>TD</i>	<i>TI</i>	<i>NW</i>	<i>TD</i>	<i>TI</i>
Зима	2,6	14,6	4,5	2,7	16,5	10,9
Весна	2,6	15,5	7,1	2,5	14,7	8,1
Лето	2,9	17,6	9,0	2,6	14,4	6,4
Осень	2,6	14,7	6,5	2,6	14,5	8,1

Пр и м е ч а н и е . Условные обозначения см. в табл. 3.

Определенный интерес представляют оценки многолетних изменений характеристик температурного режима сезонов, полученные при выявлении волн тепла и холода: *ED*, *EA*, *NW*, *TD* и *TI*. Они являются интегральными сезонными характеристиками. Для всех этих характеристик были рассчитаны параметры линейного тренда за период 1949–2006 гг. В качестве примера в табл. 8 приведены оценки для всех четырех сезонов по станции Москва.

Временные ряды среднесезонной температуры воздуха для Москвы имеют небольшой положительный тренд в зимний и весенний сезоны – вклад тренда в суммарную дисперсию ряда, согласно полученным оценкам, составляет соответственно 7,4 и 11,6 %. В многолетних изменениях среднесезонной температуры воздуха для лета и осени тренд не выражен. Результаты, полученные для характеристик волн тепла и холода, согласуются с этими оценками. Из табл. 8 видно, что в эти сезоны отмечается положительный тренд числа волн тепла *NW*, а также их суммарной продолжительности *TD* и интенсивности *TI*. В многолетних рядах характеристик волн холода наблюдается несколько меньший по величине отрицательный тренд.

Т а б л и ц а 8

Оценки статистических параметров многолетних рядов
сезонных характеристик температурного режима,
Москва, 1949–2006 гг.:

mean – среднее многолетнее значение, *b* – угловой коэффициент линейного тренда в расчете на 10 лет, *D* – вклад линейного тренда в общую дисперсию ряда (%)

Сезон	Характеристика-	Волны тепла			Волны холода		
		<i>mean</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>mean</i>	<i>b</i>	<i>D</i>
Зима	<i>ED</i>	4,4	0,4	4,7	5,2	-0,4	5,2
	<i>EA</i>	0,3	0,0	8,1	0,9	-0,0	1,6
	<i>NW</i>	2,1	0,3	7,3	2,3	-0,2	2,7
	<i>TD</i>	12,2	1,9	8,1	14,2	-1,8	6,8
	<i>TI</i>	2,9	0,7	11,3	8,7	-1,6	8,3
Весна	<i>ED</i>	5,1	0,4	6,5	5,0	-0,2	2,7
	<i>EA</i>	1,0	0,0	1,1	0,8	-0,1	5,3
	<i>NW</i>	2,3	0,3	8,4	2,1	-0,2	2,8
	<i>TD</i>	13,6	2,2	10,1	12,6	-1,5	5,3
	<i>TI</i>	8,6	1,0	7,3	6,8	-1,4	8,8
Лето	<i>ED</i>	5,2	0,2	0,8	4,8	-0,3	2,5
	<i>EA</i>	0,8	0,0	0,9	0,8	-0,1	3,0
	<i>NW</i>	2,4	0,1	1,1	2,1	-0,2	5,7
	<i>TD</i>	15,4	0,8	1,2	12,2	-1,4	6,3
	<i>TI</i>	8,0	0,5	1,1	5,6	-0,7	6,2
Осень	<i>ED</i>	5,2	0,0	0,0	4,8	0,2	2,3
	<i>EA</i>	0,7	0,0	0,2	0,8	0,0	0,2
	<i>NW</i>	2,1	0,0	0,0	2,3	-0,0	0,1
	<i>TD</i>	12,3	0,2	0,0	13,1	0,1	0,0
	<i>TI</i>	5,2	0,1	0,0	6,5	-0,0	0,0

П р и м е ч а н и е . Условные обозначения см. в табл. 3.

В табл. 9 приведены оценки параметров линейного тренда для характеристик волн в зимний сезон по всем рассматриваемым станциям. Как видим, эти оценки различаются по величине, но знаки тренда для всех станций совпадают. Такое совпадение дает возможность получить средние (нефиктивные!) оценки многолетнего хода характеристик волн тепла и холода.

Т а б л и ц а 9

Оценки статистических параметров многолетних рядов
характеристик температурного режима для зимнего сезона,
1949–2006 гг.:

mean – среднее многолетнее значение, *b* – угловой коэффициент линейного тренда в расчете на 10 лет, *D* – вклад линейного тренда в общую дисперсию ряда (%)

№	Станция	Волны тепла								
		<i>NW</i>			<i>TD</i>			<i>TI</i>		
			<i>b</i>	<i>D</i>	<i>mean</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>mean</i>	<i>b</i>	<i>D</i>
1	Лиепая	1,4	0,2	4,2	8,6	1,9	7,2	1,7	0,6	13,1
2	Рига	1,3	0,2	10,0	7,7	2,3	15,2	2,2	0,8	15,4
3	Великие Луки	1,8	0,3	11,7	10,8	2,4	18,7	2,1	0,7	18,3
4	Москва	2,1	0,3	7,3	12,2	1,9	11,0	2,9	0,7	11,3
5	Н. Новгород	2,3	0,3	11,1	13,2	2,4	17,0	3,8	1,1	17,9
6	Казань	2,5	0,3	8,6	14,4	2,2	15,3	4,5	1,0	13,6
7	Ижевск	2,1	0,2	5,6	11,9	1,3	5,1	3,8	0,6	5,9
8	Красноуфимск	2,2	0,2	3,7	12,2	1,1	6,8	3,5	0,5	5,2
9	Екатеринбург	1,9	0,2	4,6	11,5	1,5	9,3	3,9	0,6	7,2
10	Курган	2,0	0,4	11,5	10,0	2,0	13,0	3,8	0,9	10,7
11	Тара	2,0	0,3	10,3	10,8	2,2	17,2	4,2	1,2	20,6
12	Барабинск	2,1	0,4	15,0	10,8	2,4	23,0	4,2	1,2	20,3
13	Томск	1,9	0,3	9,1	10,2	2,2	17,9	3,6	1,0	18,8
14	Красноярск	1,9	0,3	12,1	10,0	2,0	13,1	3,2	0,8	14,8
№	Станция	Волны холода								
		<i>NW</i>			<i>TD</i>			<i>TI</i>		
			<i>b</i>	<i>D</i>	<i>mean</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>mean</i>	<i>b</i>	<i>D</i>
1	Лиепая	2,1	-0,2	2,0	12,7	-1,0	1,6	9,7	-0,6	0,6
2	Рига	2,4	-0,2	3,4	13,9	-1,2	2,3	10,1	-0,7	1,1
3	Великие Луки	2,3	-0,0	0,2	13,2	-0,6	1,0	9,2	-0,8	1,8
4	Москва	2,3	-0,2	2,7	14,2	-1,8	6,8	8,7	-1,6	8,3
5	Н. Новгород	2,3	-0,1	1,9	13,9	-1,6	5,3	9,0	-1,1	4,0
6	Казань	2,3	-0,2	6,3	13,6	-2,0	7,8	8,1	-1,3	6,8
7	Ижевск	2,2	-0,1	2,3	12,8	-0,6	1,2	8,0	-0,5	1,2
8	Красноуфимск	2,3	-0,2	3,2	13,3	-0,9	1,7	8,0	-0,5	1,1
9	Екатеринбург	2,1	-0,2	8,6	13,0	-1,8	8,5	8,8	-1,5	6,6

Окончание табл. 9

№	Станция	Волны холода								
		<i>NW</i>			<i>TD</i>			<i>TI</i>		
10	Курган	2,0	-0,3	8,8	12,4	-2,3	11,9	8,1	-1,9	11,4
11	Тара	2,1	-0,2	4,6	12,6	-2,0	8,5	8,1	-1,7	9,8
12	Барабинск	2,1	-0,2	3,3	13,2	-1,6	5,5	8,8	-1,5	6,6
13	Томск	2,0	-0,3	11,7	13,3	-2,0	8,7	9,1	-1,7	8,4
14	Красноярск	2,3	-0,3	7,3	15,6	-1,8	6,6	9,9	-1,3	4,9

Примечание. Условные обозначения см. в табл. 3

Средние сезонные характеристики волн были получены по двум группам станций: станции Европейской территории РФ (номера 3–8 в табл. 9 – *REG1*) и станции Сибири (номера 9–14 в табл. 9 – *REG2*). Оценки параметров временных рядов этих характеристик приведены в табл. 10. Заметим, что средние значения *ED* и *EA*

Таблица 10

Оценки статистических параметров многолетних рядов характеристик температурного режима на станциях Европейского (*REG1*) и Сибирского (*REG2*) регионов, 1949–2006 гг.

mean – среднее многолетнее значение, *b* – угловой коэффициент линейного тренда в расчете на 10 лет, *D* – вклад линейного тренда в общую дисперсию ряда (%)

Сезон	Характеристики		<i>REG1</i>			<i>REG2</i>		
			<i>mean</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>mean</i>	<i>b</i>	<i>D</i>
Зима	Температура воздуха		-10,0	0,4	5,4	-15,5	0,5	10,5
	Волны тепла	<i>ED</i>	4,7	0,3	5,8	4,4	0,3	6,8
		<i>EA</i>	0,4	0,0	13,3	0,6	0,0	11,2
		<i>NW</i>	2,1	0,3	10,9	2,0	0,3	14,6
		<i>TD</i>	12,4	1,9	11,4	10,6	2,0	16,2
		<i>TI</i>	3,4	0,8	14,3	3,8	1,0	17,5
	Волны холода	<i>ED</i>	5,1	0,1	1,4	5,4	-0,2	1,9
		<i>EA</i>	1,0	0,0	0,0	0,9	-0,0	3,7
		<i>NW</i>	2,3	-0,2	3,4	2,1	-0,2	10,4
		<i>TD</i>	13,6	-1,3	4,8	13,4	-1,9	10,2
		<i>TI</i>	8,6	-1,0	4,5	8,8	-1,6	9,0
Весна	Температура воздуха		4,2	0,3	13,1	1,7	0,4	20,3
		<i>ED</i>	5,3	0,2	4,4	4,8	0,3	7,8

Окончание табл. 10

Сезон	Характеристики		REG1			REG2		
			<i>mean</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>mean</i>	<i>b</i>	<i>D</i>
	Волны тепла	<i>EA</i>	0,7	0,0	0,5	0,7	0,0	7,1
		<i>NW</i>	2,2	0,2	7,9	2,2	0,3	14,3
		<i>TD</i>	13,6	1,6	8,2	12,6	2,0	12,3
		<i>TI</i>	6,0	0,7	4,2	5,7	1,0	11,5
	Волны холода	<i>ED</i>	5,2	-0,3	7,5	4,8	-0,3	7,3
		<i>EA</i>	0,8	-0,1	9,2	0,8	-0,1	11,2
		<i>NW</i>	2,1	-0,1	4,9	2,1	-0,2	9,6
		<i>TD</i>	12,3	-1,2	6,9	11,9	-1,6	10,4
Лето	Температура воздуха		17,1	0,1	1,2	17,1	0,1	6,4
	Волны тепла	<i>ED</i>	5,4	0,1	1,3	5,4	0,1	2,2
		<i>EA</i>	0,8	0,0	0,3	0,8	0,0	0,4
		<i>NW</i>	2,5	0,0	0,2	2,6	0,1	2,5
		<i>TD</i>	15,8	0,5	0,7	15,0	1,0	5,7
		<i>TI</i>	8,0	0,3	0,6	7,3	0,6	4,0
	Волны холода	<i>ED</i>	4,8	-0,2	2,2	4,9	-0,1	1,7
		<i>EA</i>	0,8	-0,0	7,4	0,8	-0,0	0,0
		<i>NW</i>	2,2	-0,1	3,0	2,3	-0,1	1,1
		<i>TD</i>	12,5	-0,6	2,4	12,3	-0,4	1,2
		<i>TI</i>	5,8	-0,4	2,8	5,7	-0,1	0,4
Осень	Температура воздуха		3,7	0,1	3,3	1,1	0,3	12,9
	Волны тепла	<i>ED</i>	5,4	0,1	0,7	4,9	0,2	6,2
		<i>EA</i>	0,8	0,0	1,8	0,8	0,0	3,5
		<i>NW</i>	2,2	0,2	9,7	2,4	0,2	9,4
		<i>TD</i>	13,4	1,0	4,8	13,0	1,5	11,0
		<i>TI</i>	6,0	0,4	2,4	5,6	0,7	10,1
	Волны холода	<i>ED</i>	4,7	0,0	0,0	4,9	-0,2	6,3
		<i>EA</i>	0,8	-0,0	0,3	0,9	-0,1	13,6
		<i>NW</i>	2,2	-0,1	3,0	2,3	-0,2	8,5
		<i>TD</i>	12,4	-0,6	1,0	12,9	-1,4	7,2
		<i>TI</i>	6,6	-0,2	0,4	7,5	-1,2	9,0

Примечание. Условные обозначения см. в табл. 3

в этой таблице отличаются от значений VD и VA в табл. 6, поскольку имеют разную смысловую нагрузку (последние характеризуют непосредственно волны, а ED и EA – календарный сезон), а в силу этого и различный алгоритм расчета.

Из табл. 10 видно, что происходящее в настоящее время глобальное потепление климата наблюдается и в умеренных широтах России. Однако оно не является одинаковым в двух рассматриваемых регионах и имеет свои особенности в различные сезоны. Так, на Европейской территории тренд температуры во все сезоны меньше, чем в Сибирском регионе, но в обоих регионах он наиболее выражен в весенний период. Оценки многолетних изменений «волновых» характеристик сезонов соответствуют изменениям температуры воздуха: характеристики для волн тепла во все сезоны имеют положительный тренд, для волн холода – отрицательный. Это хорошо видно на рисунках, где показан многолетний ход среднесезонной температуры воздуха и числа волн холода и тепла за сезон в Европейском (рис. 1) и Сибирском (рис. 2) регионах. Отметим, что если среднее число волн (одного знака) на станциях составляет 2-3 случая за сезон, то в отдельные годы оно изменяется от 0 до 8.

Согласно полученным оценкам, положительный тренд среднесезонной температуры воздуха сопровождается не столько увеличением продолжительности волн тепла (вклад тренда в суммарную дисперсию для рядов ED не достигает 8 %), сколько ростом их числа. Так, в Сибирском регионе вклад положительного тренда в суммарную дисперсию рядов NW для волн тепла зимой и весной превышает 14 %. При этом вклад отрицательного тренда в суммарную дисперсию рядов числа волн холода составляет 10 %.

В заключение статистических расчетов приведем сведения о числе волн, прохождение которых сопровождалось резкими изменениями приземной температуры воздуха – межсуточные изменения температуры составили более одного стандартного отклонения $\{abs(dwt) > I\}$, а продолжительность волн была более недели ($VD > 7$ дней). Из табл. 11 видно, что число волн, удовлетворяющих этим двум условиям, не велико, но во все сезоны повторяемость волн холода гораздо больше, чем волн тепла. При этом обращает на себя внимание зимний сезон, для которого число волн тепла существенно меньше по сравнению с другими сезонами, а число волн холода существенно больше. Из конкретных данных можно выделить экстремально жаркое лето 1972 г., когда в Москве отмечалось семь волн тепла, три из которых сопровождались резким повышением температуры воздуха.

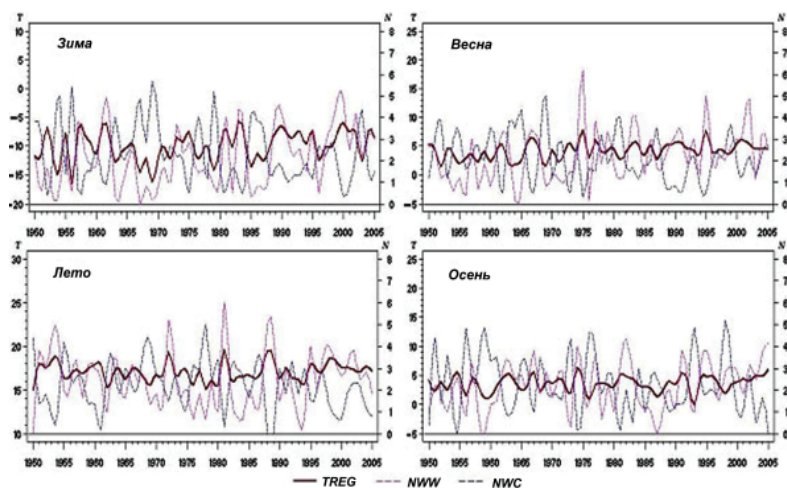


Рис 1. Многолетний ход среднесезонной температуры воздуха (TREG, ось слева – $T^{\circ}\text{C}$) и числа волн тепла (NWW) / холода (NWC) за сезон (ось справа – N) в Европейском регионе

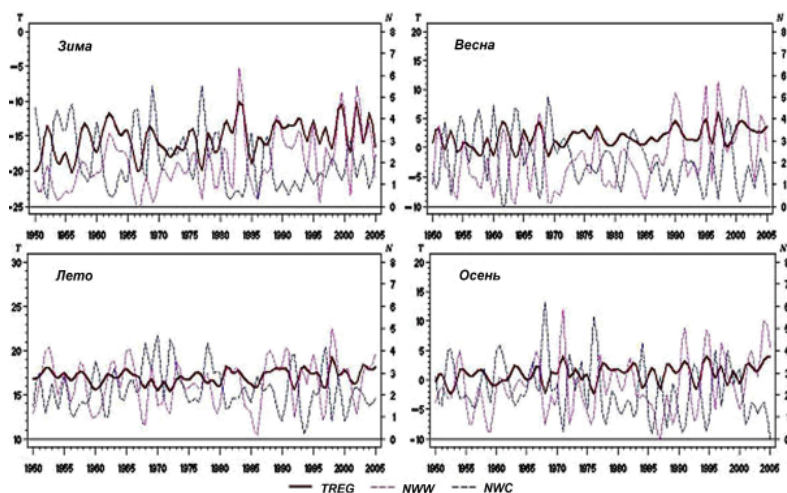


Рис 2. То же, что на рис.1, но для Сибирского региона

Т а б л и ц а 11

Суммарное число волн тепла и холода (по 14 станциям за период 1949–2006 гг.) с продолжительностью более 7 суток (1) и резким изменением температуры воздуха (2)

Сезон	Всего	$VD>7$ (1)	$abs(dwt)>1$ (2)	(1) + (2)	
				N	$P, \%$
Волны тепла					
Зима	1536	275	384	67	4,4
Весна	1684	407	470	95	5,6
Лето	1930	496	464	108	5,6
Осень	1761	345	533	103	5,8
Волны холода					
Зима	1720	420	857	221	12,8
Весна	1589	355	742	171	10,8
Лето	1707	309	768	150	8,8
Осень	1700	334	826	170	10,0

Полученные результаты (статистики и каталоги волн) будут использоваться в качестве основы при дальнейшем изучении волн тепла и холода.

Литература

1. Груза Г. В., Коровкина Л. В. Климатический мониторинг процессов блокирования западного переноса в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 8. – С. 1–17.
2. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Колебания и изменения климата на территории России // Изв. РАН, сер. Физика атмосферы и океана. – 2003. – Т. 39, №2. – С. 166–185.
3. Груза Г. В., Ранькова Э. Я., Клещенко Л. К., Аристова Л. Н. Статистический анализ сезонных индексов блокирования в Северном полушарии // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2003. – Вып. 171. – С. 127–150.
4. Константинов Л. К. Погода и сад // [http:// www.meteoweb.ru/](http://www.meteoweb.ru/).
5. Мартазинова В. Ф., Остапчук В. В. Взаимосвязь процессов циркуляции в тропосфере и стратосфере при кратковременных и длительных потеплениях и похолоданиях в Украине // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2004. – Вып. 253. – С. 28–36.

6. Ревич Б. А., Шапошников Д. А. Климатические условия, качество атмосферного воздуха и смертность населения Москвы в 2000–2006 годах // Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей / Под ред. Б. А. Ревича. – М.: Изд-во «АдамантЪ», 2006. – С. 102–140.

7. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь / Под ред. А. И. Бедрицкого. – СПб; Москва: Летний сад, 2008. – Т. 1 (А–И). – 336 с.

8. Энциклопедический Словарь Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона // <http://www.vehi.net/>.

**ЗАПАЗДЫВАНИЕ ГОДОВОГО ХОДА
ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВОГРУНТОВ
НА ГЛУБИНАХ ДО 320 СМ
ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИЙ РОССИИ**

При построении карт области распространения многолетней мерзлоты, как известно, учитывается совокупность различных факторов, таких как среднегодовая температура почвогрунтов, мощность многолетнемерзлых толщ, характер распространения многолетнемерзлых толщ по степени прерывистости таликами и др. [2]. Но из-за отсутствия такой совокупности данных за длительный промежуток времени карты распространения многолетней мерзлоты, приведенные в различных работах, носят весьма вероятностный характер. Часто карты построены на косвенных параметрах, таких, например, как температура воздуха. В работе [1] приведена карта многолетней мерзлоты в Северном полушарии, полученная в результате модельного расчета с использованием данных о климате (температура воздуха и осадки).

Построение карт по специальным геокриологическим наблюдениям в зоне многолетней мерзлоты затруднительно, так как в настоящее время существуют только 12–15 действующих наблюдательных объектов мониторинга криолитозоны [3, 4], что крайне недостаточно для мониторинга распространения мерзлоты. При этом они размещены очень неравномерно по территории криолитозоны.

В последние годы возник интерес к использованию имеющихся длительных рядов наблюдений за температурой почвогрунтов на гидрометеорологических станциях для оценки многолетних термических изменений в них и пространственных особенностей этих изменений [4]. Представляют интерес новые возможные подходы к определению зоны многолетней мерзлоты в связи с описанными выше проблемами, которые возникают при построении карт распространения многолетней мерзлоты, а также из-за её постепенной деградации.

Поэтому при изучении термического режима почвогрунтов на территории России было проведено исследование проникновения волн тепла и холода на глубины до 320 см. При этом было оценено

запаздывание температуры на глубинах 160 и 320 см относительно температуры почвогрунтов на глубине 80 см. На глубине 80 см уже значительно ослаблены суточные колебания температуры почвогрунтов [5], которые наблюдаются на их поверхности, поэтому оценка запаздывания температуры в почвогрунтах приводится относительно этой глубины.

Согласно закону теплопроводности Фурье, волны тепла распространяются от поверхности почвогрунтов на глубины с отставанием по фазе и с уменьшением амплитуды колебаний по мере увеличения глубины [2]. Изменения фазы и амплитуды в различных почвогрунтах неодинаковы, они определяются теплопроводностью и теплоемкостью почвогрунтов, которые, в свою очередь, определяются их составом, плотностью, влажностью и фазовым состоянием воды в них.

Ежедневные наблюдения за температурой почвогрунтов на метеостанциях по вытяжным термометрам до глубины 320 см позволяют определять сдвиг фазы годового хода (запаздывание) температуры на выбранном нижнем уровне относительно другого, более верхнего уровня. Величину сдвига годового хода температуры почвогрунтов между двумя уровнями можно рассматривать как некоторую обобщенную оценку теплофизических свойств слоя почвогрунтов между рассматриваемыми уровнями.

По данным ежедневных наблюдений температуры почвогрунтов за 1977–2006 гг. вычислялся осредненный годовое ход температуры на глубине 80 см и отдельно – на глубине 160 и 320 см. По полученным значениям годового хода (365 суток) по данным двух уровней были вычислены асинхронные коэффициенты корреляции со сдвигами до 100 суток. Уменьшение длины ряда при расчетах не происходило при сдвигах, так как недостающие значения в конце года дополнялись соответствующими значениями начала года. По наилучшему коэффициенту асинхронной корреляции между полученными осредненными значениями годового хода на двух уровнях определялся сдвиг, при котором достигалось наилучшее совмещение кривых годового хода на этих двух уровнях. Расчеты сдвигов выполнены по 574 станциям России. Эти сдвиги нанесены на карту (рис. 1).

На территории России сдвиг годового хода температуры в слое между 80 и 160 см различен по регионам. В северных половинах ЕТР и Западной Сибири он составляет 13–19 суток. В южных

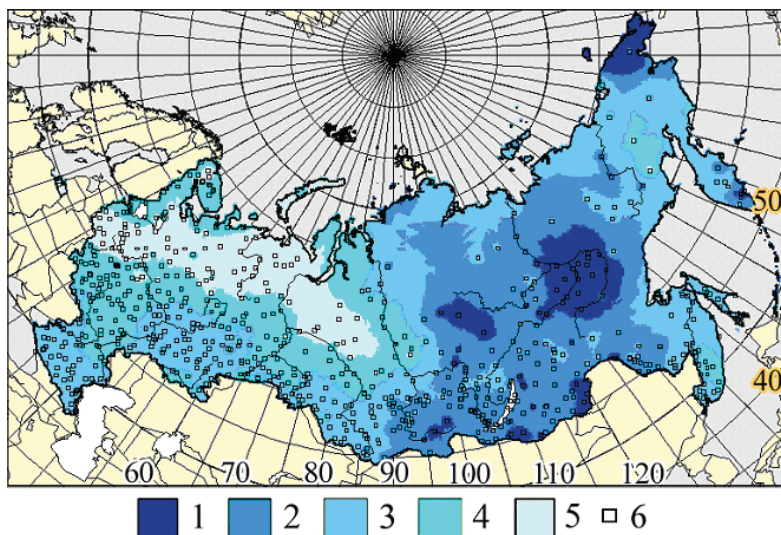


Рис. 1. Сдвиг (d – запаздывание в днях) между годовым ходом температуры на глубинах 160 и 80 см: 1 – $d > 25$; 2 – $22 < d \leq 25$; 3 – $19 < d \leq 22$; 4 – $16 < d \leq 19$; 5 – $13 < d \leq 16$; 6 – метеостанция

половинах указанных районов сдвиг составляет 19 – 22 суток, а в Восточной Сибири он составляет 19 – 25 суток и более.

Таким образом, показано, что наибольшее запаздывание проникновения температуры на глубины наблюдается в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке, т.е. в регионах, преимущественно занятых многолетней мерзлотой (см. рис. 2).

Аналогично были получены сдвиги между уровнями 80 и 320 см (рис. 3). Карта сдвигов годового хода между уровнями 80 и 320 см показывает, что в зоне многолетней мерзлоты наблюдается наибольшее запаздывание и составляет там 60 – 80 суток и более, а в других областях запаздывание менее 50 – 60 суток или менее 50 суток. Большое запаздывание по фазе годового хода в зоне мерзлоты показывает особые теплофизические свойства почвогрунтов в этой зоне, предположительно связанные с задержкой при фазовых переходах вода–лед от лета к зиме и обратно – от зимы к лету – в почвогрунтах с большим содержанием льда.

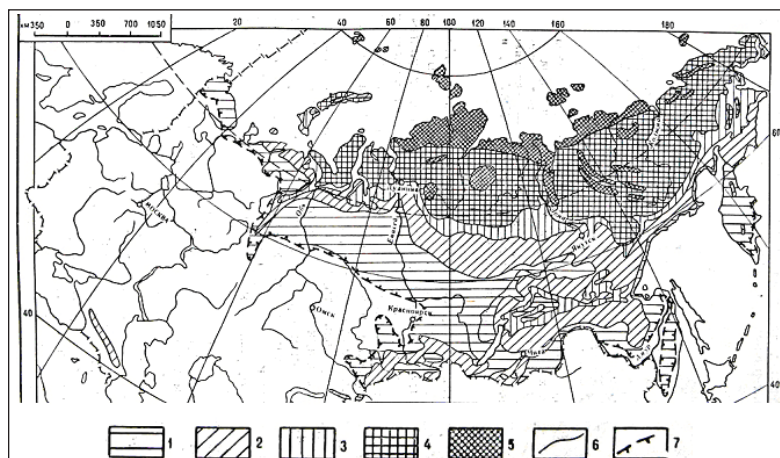


Рис. 2. Карта распространения многолетнемерзлых пород (ММП) в СССР (К.А. Кондратьева, 1976) [2]: 1 – зона редкоостровного, островного и массивно-островного распространения ММП со среднегодовыми температурами (t) от $+3$ до -1 °C и мощностью (M) мерзлой толщи от 0 до 100 м; 2–5 – зоны сплошного распространения ММП; 6 – граница зон ММП; 7 – южная граница криолитозоны

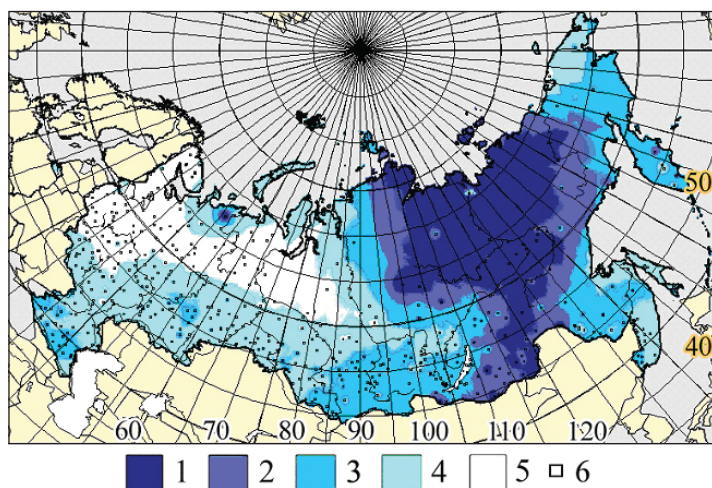


Рис. 3. Сдвиг (d – запаздывание в днях) между годовым ходом температуры на глубинах 320 и 80 см: 1 – $d \geq 80$; 2 – $70 \leq d < 80$; 3 – $60 \leq d < 70$; 4 – $50 \leq d < 60$; 5 – $d < 50$; 6 – метеостанция

Полученные результаты показывают, что в зоне мерзлоты сложились некоторые особые свойства почвогрунтов, отличные от свойств в других регионах, влияние этих свойств ослабляет проникновение волны годового хода из вышележащих слоев в нижележащие.

Таким образом, в зоне мерзлоты наблюдается самый существенный сдвиг, который, по-видимому, определяется именно наличием мерзлых пород их свойствами и составом. Величина сдвига характеризует теплоемкость и теплопроводность почвогрунтов и может являться одним из показателей возможного наличия многолетней мерзлоты в регионе.

Литература

1. Анисимов О.А., Нельсон Ф.Э. Влияние изменения климата на вечную мерзлоту в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. – 1997. – №5. – С. 71–80.
2. Кудрявцев В.А. Мерзлотоведение. – М.: МГУ, 1981 г. – 240 с.
3. Павлов А.В. Тренды современных изменений температуры почвы на севере России // Криосфера Земли. – 2008. – Т. XII, № 3. – С. 22 – 27.
4. Павлов А.В., Малкова Г.В. Современные изменения климата на севере России. Альбом мелкомасштабных карт. – Новосибирск: Гео, 2005. – 54 с.
5. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. – Л.: Гидрометеопиздат, 1972. – 340 с.

ПЫЛЬНЫЕ ПОЗЕМКИ И БУРИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Пыльный (песчаный) поземок определяется в метеорологии как перенос пыли, частиц почвы или песка у поверхности земли до высоты 1,5–2 метра. Поземок может наблюдаться даже при слабом ветре. Пыльная буря – явление более масштабное, при котором наблюдается перенос больших количеств пыли или песка сильным ветром с одновременным их подъемом и оседанием на большой территории. Видимость при пыльной буре значительно ухудшена.

Эти явления являются комплексными, их интенсивность, по-видимому, зависит от наличия и характера переносимых веществ, состояния и влажности подстилающей поверхности, размеров территории, на которой есть слой вещества, подверженного переносу, и скорости ветра. Анализ исследовательских работ указывает на то, что наиболее часто пыльные бури возникают в Украине и Казахстане, но и в Российской Федерации пыльные бури – нередкое явление, причем не только в ее южных районах, но и на севере. И.Е.Бучинский выделяет на Русской равнине три района с заметной повторяемостью этого явления – Северный Кавказ, Поволжье и Башкирию [1]. В Справочнике по опасным явлениям [4] указано максимальное из наблюдавшихся за 1970–1992 гг. годовое число дней с пыльной бурей по территории административных образований Российской Федерации. К числу обстоятельных работ можно также отнести книгу П.С. Захарова [2], в которой всесторонне обсуждается вредоносность пыльных бурь.

В данной статье поставлена задача – получить климатические характеристики пыльных поземков/бурь по данным, накопленным в Госфонде, оценить полноту и достоверность сведений о поземках/бурях и сопровождающих их метеорологических параметрах, таких как температура воздуха, скорость ветра, состояние подстилающей поверхности, и, возможно, сделать выводы о пригодности наших фондов для выполнения научных работ.

Исходные данные

Исходным материалом являются многолетние ряды данных о наличии атмосферных явлений на 1 699 станциях России за

1977–2005 гг. (29 лет). Сведения о явлениях входят в состав двух типов архивов, хранящихся и постоянно пополняемых в Государственном фонде данных, из которых архив суточного разрешения включает сведения по суммарной за сутки продолжительности двух явлений вместе – поземка и бури. Начиная с 1984 года начало и окончание всех явлений начинает архивироваться в составе архива срочного разрешения, и только с этой даты возможно рассчитать показатели (наличие и продолжительность) пыльной бури отдельно от поземки. В настоящем исследовании два явления в плане их наличия и продолжительности анализируются вместе, без разделения, в соответствии с макетом архивации суточных данных. В дальнейшем изложении применяется их сокращенное обозначение в виде ПБ/ПП (пыльная буря/пыльный поземок).

Прежде чем приступить к анализу результатов, следует уделить внимание полноте и качеству информации в архиве суточного разрешения. В начальной стадии процесса архивации, в 1977–1983 гг. все данные проверялись на допустимые значения или на естественный, установленный на практике диапазон значений. Сомнительным сведениям присваивался признак недостоверности. Далее, по мере развития способов контроля, в производственный процесс внедрялся логический контроль, учитывающий возможные и недопустимые сочетания метеорологических величин. Таким образом, уровень достоверности данных неодинаков, чем «новее» данные, тем больше к ним доверия. В связи с этим все сведения о ПБ/ПП, которые удалось найти в суточном макете, проверены на наличие грубых ошибок. В общей сложности около 150 разных величин, включая минимальную температуру, скорость ветра, суточную продолжительность ПБ/ПП, в процессе авторского контроля были признаны недостоверными и исключены из дальнейшего анализа, что, конечно, составляет значительную долю от общего количества дней с ПБ/ПП.

Обычной проблемой метеорологических архивов является полнота поступления данных. В течение 1977–2005 гг. часть метеостанций была закрыта, данные некоторых метеостанций поступали в архив нерегулярно, менялся статус метеостанции и вместе с ним менялась программа наблюдений. Все это, вместе взятое, приводит к тому, что количество метеостанций, данные которых поступили в архив, от года к году меняется. Таблица 1 позволяет оценить полноту поступления в каждом году, а также дает представление об изменчивости количества дней с ПБ/ПП от года к году.

Т а б л и ц а 1

Сумма дней и количество метеостанций с поземком/бурей
и без них, 1977–2005 гг. (всего метеостанций 1 699)

Год	Сумма дней с ПБ/ПП	Количество станций		
		без ПБ/ПП /%	С ПБ/ПП /%	Всего / %
1977	3 379	1 220/ 79	334/ 21	1 554/ 91
1978	3 489	1 285/ 78	355/ 22	1 640/ 97
1979	3 517	1 292/ 79	353/ 21	1 645/ 97
1980	3 273	1 319/ 80	337/ 20	1 656/ 97
1981	3 072	1 311/ 79	350/ 21	1 661/ 98
1982	3 464	1 352/ 81	311/ 19	1 663/ 98
1983	3 077	1 368/ 82	303/ 18	1 671/ 98
1984	4 295	1 345/ 81	325/ 19	1 670/ 98
1985	2 719	1 354/ 83	276/ 17	1 630/ 96
1986	3 857	1 296/ 81	302/ 19	1 598/ 94
1987	2 826	1 404/ 84	274/ 16	1 678/ 99
1988	2 897	1 389/ 83	284/ 17	1 673/ 98
1989	2 877	1 379/ 83	285/ 17	1 664/ 98
1990	2 778	1 349/ 81	317/ 19	1 666/ 98
1991	2 650	1 404/ 85	257/ 15	1 661/ 98
1992	2 254	1 407/ 85	247/ 15	1 654/ 97
1993	1 990	1 436/ 87	218/ 13	1 654/ 97
1994	2 314	1 433/ 87	211/ 13	1 644/ 97
1995	2 481	1 380/ 86	233/ 14	1 613/ 95
1996	2 519	1 330/ 84	259/ 16	1 589/ 94
1997	1 978	1 356/ 86	220/ 14	1 576/ 93
1998	2 400	1 294/ 84	247/ 16	1 541/ 91
1999	2 559	1 244/ 83	254/ 17	1 498/ 88
2000	2 029	1 325/ 87	201/ 13	1 526/ 90
2001	1 912	1 284/ 86	213/ 14	1 497/ 88
2002	1 787	1 284/ 86	215/ 14	1 499/ 88
2003	2 150	1 293/ 84	241/ 16	1 534/ 90
2004	1 745	1 332/ 87	203/ 13	1 535/ 90
2005	1 695	1 328/ 88	186/ 12	1 514/ 89
Сумма	77 983	38 793/ 83	7 811/ 17	46 604/ 95

В таблице приведена сумма дней с ПБ/ПП в каждом году, исчисленная по всем станциям вместе, а затем дано количество станций, на которых явления не было. Далее следует количество станций, на которых был хотя бы один день с явлением за год. Сумма станций, попавших в обе категории, стоит в предпоследнем столбце, а затем дана оценка количества станций с данными по сравнению с общим количеством станций 1 699. Именно эта цифра указывает, какая доля данных в архиве отсутствует. Например, в 2002 году на 1 284 станциях буря не наблюдалась ни разу, 215 станций отметили бурю в общей сложности 1 787 раз, вместе эти станции составили цифру 1 499, что в процентах от общего количества станций (1699) составляет 88 %. Таким образом, в 2002 году данные 200 станций по явлениям в Госфонд не поступили ($1\ 699 - 1\ 499 = 200$).

Количество метеостанций, данные по которым в отдельные годы отсутствовали, не превышает 12 % и в течение 29 лет меняется незначительно. После 1999 года происходит некоторое уменьшение количества данных, связанное, по-видимому, с прекращением наблюдений на части станций. В среднем за все годы пропущено не более 5 % данных, от года к году пропуски могут составлять от 1 до 12 %.

В итоговой строке стоит общая сумма дней или метеостанций с ПБ/ПП, но ее следует воспринимать именно как суммарную за 29 лет, помня о том, что число и состав станций, данные которых исследуются в статье, от года к году существенно меняются. Итоговые цифры всего лишь оценивают долю метеостанций с ПБ/ПП и без них в общем количестве станций, а поскольку часть данных неравномерно отсутствует и эта неравномерность относится и к пространству и ко времени, то при вычислении среднего за 29 лет получается цифра меньшая, чем количество всех станций с данными ($46\ 604/29 = 1\ 607$), что заметно меньше 1699 станций. Достигнуть соответствия можно лишь при полном наличии данных, что, учитывая разнообразие причин пропусков, практически невозможно.

Многолетнее количество метеостанций, на которых ПБ/ПП в отдельные годы не было, составляет 83 %, но если они возникли хотя бы 1 раз в год, то метеостанция попадала в разряд станций с явлением, суммарное количество которых составляет 17 % от общего. В отдельные, экстремальные, годы станций с ПБ/ПП становилось больше.

Количество суток с ПБ/ПП за год в сумме по всем метеостанциям содержится во втором столбце таблицы. Всего найдено 77 983

суток, но следует пояснить, что эта абсолютная цифра составляет всего 0,5 % от суммарного максимально возможного числа суток (29 лет, 1 699 станций, 365–366 суток за год). Минимальное количество суток было все в том же 2005 году и составило 1 695 дней за год, в отличие от экстремального 1984-го года с 4 295 сутками. Таким образом, пыльные бури/поземки относятся к редким явлениям, они возникают неравномерно во времени и пространстве. Приведенные в статье сведения о повторяемости помогут выявить особенности территориального и временного распределения ПБ/ПП.

Территориальные особенности возникновения пыльных бурь и поземков на территории России

Метеорологическое обслуживание в нашей стране производится территориальными управлениями Гидрометслужбы (УГМС), названия которых примерно отражают их расположение, а номера закреплены за ними как неизменные признаки. Придерживаясь сложившегося за много лет разделения территории России на УГМС, произведем анализ количества станций по градам сумм дней с пыльной бурей/поземком за указанный период лет (табл.2).

Из общего числа (1 699) метеостанций пыльные поземки или пыльные бури наблюдались лишь на 818 станциях (48%). Из них большая часть, а именно 497 станций отметили эти явления не более 20 раз за 29 лет, 163 станции наблюдали ПБ/ПП от 21 до 100 раз, оставшиеся 158 станций ($818 - 497 - 163 = 158$) подвергаются пыльным поземкам и бурям намного чаще. Наибольшее распространение ПБ/ПП имеют в Северо-Кавказском УГМС, где из 142 станций 118 регистрируют бури/поземки, причем 45 из них попадают в градации от 100 до 600 случаев. Значительное распространение имеют ПБ/ПП также в Омском, Приволжском, Западно-Сибирском и Забайкальском УГМС. Сумма числа случаев (дней) с ПБ/ПП за весь ряд наблюдений по всем станциям УГМС находится в последней колонке таблицы. Эта сумма наиболее велика в указанных УГМС, причем в Северо-Кавказском УГМС, объединяющем Ростовскую, Астраханскую, Волгоградскую области, Краснодарский и Ставропольский края и Республику Калмыкия, число случаев в 3 раза больше, чем в следующем за ним Забайкальском и намного превышает аналогичный показатель в других территориальных образованиях (31 096 случаев за 29 лет).

Т а б л и ц а 2

Количество станций по грациям суммы дней с ПБ/ПП за 1977–2005 гг.

Номер УТМС	Название УТМС	Всего станций	Без ПБ/ПП	Градации суммы дней					Сумма дней
				1–20	21–100	101–300	301–600	>600	
1	Северное	119	95	22	–	1	–	1	2 392
2	Мурманское	41	34	6	1	–	–	–	53
3	Северо-Западное	105	94	10	1	–	–	–	86
8	Центральное	18	15	3	–	–	–	–	6
9	Уральское	99	59	31	5	1	2	1	2 655
12	Приволжское	115	37	52	15	7	2	2	5 718
13	Северо-Кавказское	142	24	41	32	16	11	18	31 096
17	Омское	81	25	25	15	10	5	1	6 694
20	Западно-Сибирское	126	30	59	16	14	6	1	6 842
21	Красноярское	113	53	33	15	8	3	1	4 256
22	Иркутское	89	31	25	17	14	2	–	4 649
23	Забайкальское	107	11	42	29	13	9	3	10 254
24	Якутское	120	85	28	4	3	–	–	957
25	Дальневосточное	100	62	32	6	–	–	–	434
26	Приморское	44	34	9	1	–	–	–	54
27	Камчатское	34	28	4	–	1	1	–	654

О к о н ч а н и е т а б л . 2

Номер УГМС	Название УГМС	Всего станций	Без ПБ/ПП	Градации суммы дней						Сумма дней
				1-20	21-100	101-300	301-600	>600	Всего	
28	Центрально-Черно- земное	61	32	27	2	—	—	—	29	237
29	Верхне-Волжское	102	66	32	3	—	1	—	36	794
33	Колымское	43	38	5	.	—	.	.	5	14
34	Сахалинское	40	28	11	1	—	.	—	12	138
Сумма		1 699	881	497	163	88	42	28	818	77 983
%		100	52	29	10	5	2	2	48	—

Пыльные бури и поземки – явления локальные, обусловленные наличием переносимого материала, о чем как раз и свидетельствует информация таблицы. В ряде управлений большая часть станций лишь изредка фиксирует ПБ/ПП, и в то же время имеются станции-рекордсменки, расположенные, например, в песчаных долинах, где подъем песка в воздух происходит сразу же при усилении ветра. Чтобы установить этот факт, выберем в каждом УГМС такие точки, где количество случаев максимально (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Станции с наибольшим количеством дней
с пыльной бурей/пыльным поземком в каждом УГМС

Номер УГМС	Индекс	Название станции	Количество случаев	Продолжительность, часы	
				средняя	суммарная
1	22271	Шойна	2 170	10	21 126
2	22213	Апатиты	31	4	131
3	26488	Лесной Заповедник	62	4	240
8	27627	Кашира	3	2	5
9	35041	Бреды	1 586	6	10 224
12	34169	Сплавнуха	1 576	6	9 505
13	34871	Утта	2 515	6	14 855
17	28066	Кондинское	670	5	3 616
20	36028	Угловское	611	4	2 474
21	29866	Минусинск	685	3	2 266
22	30721	Еланцы	507	6	2 958
23	30825	Иволгинск	930	4	4 120
24	24263	Батагай, АМСГ	255	4	1 002
25	31441	Саскаль	62	5	289
26	31917	Полтавка	22	3	75
27	32389	Ключи	438	9	3 796
28	34213	Новый Оскол	64	4	268
29	27752	Темников	529	5	2 563
33	25608	Каньон	5	5	23
34	32010	Оха	98	4	349

В Северном УГМС (при общем малом числе случаев на 22 метеостанциях) есть станция Шойна, расположенная в Ненецком

автономном округе, где число дней за 29 лет составило 2 170, средняя многолетняя продолжительность пыльных поземков и бурь в день с явлением достигает 10 часов, а в сумме за 29 лет песок, поднятый ветром, носился в воздухе 21 176 часов, что является самым высоким показателем на территории России. Следом идут станции Утта, Сплавнуха и Бреды, каждая в своем УГМС является лидером по числу дней с ПБ/ПП. Количество случаев напрямую связано с суммарной продолжительностью, поэтому за редким исключением те же самые станции можно считать лидерами и по числу часов с ПБ/ПП.

Как уже говорилось выше, Северо-Кавказское УГМС – это район наибольшего распространения ПБ/ПП, положение в котором следует рассмотреть более подробно. С этой целью изменим градации числа дней с ПБ/ПП так, чтобы количество случаев плавно убывало с увеличением градации (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Распределение станций по градациям числа дней с пыльной бурей/поземком на территории Северо-Кавказского УГМС

Градация числа дней	Количество станций / %	Накопленная повторяемость, %
1–100	73/62	73
100–300	16/14	89
300–600	11/9	100
600–1 000	9/8	109
1 000–1 500	5/4	114
1 500–2 600	4/3	118

Несмотря на значительное количество числа дней с ПБ/ПП за 29 лет (31 096 случаев) большая часть метеостанций (100) отметила явление не более 600 раз (первые три градации), а основной вклад в количество случаев внесли оставшиеся 18 станций, на которых число дней в сумме составило 21 201, то есть 68 % от общего количества. Список экстремальных станций Северо-Кавказского УГМС дан в таблице 5.

Средняя продолжительность ПБ/ПП в день с явлением на выбранных самых «пыльных» станциях составляет от 3 до 7 часов в сутки. Минимальная продолжительность не превышает получаса (в таблицу не включена).

Т а б л и ц а 5

Перечень 18 станций Северо-Кавказского УГМС
с наибольшим количеством дней с ПБ/ПП

№ п/п	Название станции	Количество случаев	Продолжительность, часы		
			сред.	макс.	суммарная
1	Ремонтное	605	4	19	2 429
2	Ольховка	619	5	24	3 187
3	Рощино	725	4	24	2 980
4	Верхний Баскунчак	735	5	24	3 369
5	Будённовск, АМСГ	736	3	17	2 036
6	Яшкуль	824	6	24	4 785
7	Артезиан	925	5	22	5 028
8	Боковская	934	6	24	5 748
9	Кетченеры	980	6	22	5 414
10	Черный Яр, АМСГ	1 155	4	21	4 640
11	Лагань	1 159	5	24	6 200
12	Ики-Бурул	1 180	6	24	6 551
13	Гигант, агро	1 283	7	24	9 431
14	Комсомольский	1 335	6	24	8 282
15	Малые Дербеты	1 727	5	24	9 239
16	Лиман	1 802	6	24	11 700
17	Юста	1 962	6	24	11 449
18	Утта	2 515	6	24	14 855
Всего		21 201	–	–	117 323

Максимальная продолжительность в сутки близка к 24 часам, но нередко случаи, когда эти неприятные явления продолжаются несколько дней подряд, о чем более подробно будет сказано в следующем разделе.

Среди 18 станций выделяется Утта, расположенная в Калмыцких степях примерно на середине прямой, связывающей города Элисту и Астрахань. Здесь ПБ/ПП отмечены в 2 515 днях, что составляет от суммы дней за 29 лет примерно 24 % ($365 \times 29 + 7 = 10592$; $2515 / 10592 \times 100 = 23,7$), то есть 1 раз в 4 дня здесь пыль поднимается в воздух поземком или бурей, продолжительность которых в среднем составляет 6 часов.

Анализ продолжительности пыльных бурь и поземков

Для станций с наибольшим числом дней с ПБ/ПП выше были приведены значения максимальной, средней и суммарной суточной продолжительности ПБ/ПП, но этот вопрос нуждается в более подробном освещении, так как продолжительность является одним из критериев, по которому определяется степень опасности явления. Как долго продолжается пыльный поземок или буря, может ли она длиться несколько дней подряд и какова суммарная длительность многосуточного периода? Таблица 6 дает представление о повторяемости суточной продолжительности в обобщении по всем 818 станциям независимо от их территориальной принадлежности.

Т а б л и ц а 6

Повторяемость суточной продолжительности
пыльной бури/поземка

Градации продолжительности, часы	Число случаев	Проценты
0 – 1	7 825	10,0
1 – 5	41 902	53,7
5 – 10	22 293	28,6
10 – 15	3 978	5,1
15 – 20	983	1,3
20 – 24	1 002	1,3
Сумма	77 983	100,0

Длительность менее 1 часа в сутки составляет 10 % от общего количества случаев, но чаще всего ПБ/ПП длится от 1 до 10 часов (две градации дают 82 % всех случаев). В 8 % случаев длительность превышает 10 часов, на долю пыльных бурь/поземков, не стихающих целые сутки, приходится менее 1 %. Могут ли сложиться такие условия, когда ПБ/ПП бушуют несколько дней подряд, и часто ли бывают такие случаи – информация по этому поводу содержится в таблице 7.

Расчеты показали, что из 77 983 дней с ПБ/ПП большая часть, а именно $77\,983 - 30\,787 = 47\,196$ дней, входит в состав периодов, длящихся непрерывно от 2 до 20 дней кряду (60 %), оставшиеся 40 % – это одиночные дни, за которыми наступает перерыв. Всего таких периодов найдено 17 044, из них преобладающими являются

Т а б л и ц а 7

Повторяемость длины периодов с пыльной бурей/поземком

Градация числа дней	Число случаев	Проценты
2	10 868	63,8
3 – 5	5 286	31,0
6 – 10	811	4,8
11 – 15	69	0,4
16 – 20	10	0,1
Сумма	17 044	100,0

короткие периоды длиной от 2 до 5 дней – 16 154 периодов, более длительные цепочки составляют всего 5 %. Периоды, когда ПБ/ПП возникают ежедневно в течение 10–15 и даже более дней подряд, составляют менее половины процента. Что касается более длительных периодов, попавших в последнюю градацию, то они заслуживают специального перечисления в качестве многолетних экстремумов (табл.8).

Т а б л и ц а 8

Перечень периодов с пыльным поземком/бурей
длиной более 15 дней

№ п/п	Станция	Номер УГМС	Месяц/ год	Число дней	Продолжитель- ность, часы
1	Шойна	1	10.1987	17	189
2	Шойна	1	08.1989	16	168
3	Шойна	1	08.1998	19	251
4	Шойна	1	06.2000	19	142
5	Шойна	1	09.2003	16	184
6	Петровск	12	08.1989	20	188
7	Боковская	13	05.1984	20	117
8	Юста	13	04.1986	20	197
9	Бреды	9	05.1980	19	153
10	Бреды	9	05.1982	18	172

В списке фигурируют станции Шойна и Бреды, лидирующие каждая в своем УГМС по числу дней, а также три станции, на ко-

торых количество дней составляет от 700 до 2 000 за все время наблюдений, и как раз в этих точках непрерывные периоды длятся по 20 дней кряду. В последней колонке дана суммарная продолжительность ПБ/ПП за весь период, например, на станции Петровск в августе 1989 года начался период ПБ/ПП, который длился 20 дней, в течение которых явление наблюдалось в сумме 188 часов, однако по длительности первенство принадлежит ст. Шойна – 251 час за 19 дней в августе 1988 года.

Это что касается экстремумов. Если же обратиться ко всей массе дней с ПБ/ПП и распределить 17 044 периодов, то есть непрерывных цепочек с ПБ/ПП, по грациям их суммарной длительности, то становится ясно, что чаще всего длительность не превышает 20 часов (табл.9).

Т а б л и ц а 9

Повторяемость суммарной продолжительности периодов с пыльной бурей/поземком

Градация продолжительности, часы	Число случаев	Проценты
0 – 20	13 269	77,9
20 – 40	2 735	16,0
40 – 80	875	5,1
80 – 120	121	0,7
> 120	44	0,3
Сумма	17 044	100,0

Более 13 тыс. цепочек (78 %) длятся не более 20 часов и лишь в 1 % случаев набирается более 80 часов за 1 цепочку. Конечно, чтобы детализировать эту картину, необходимы данные не по суточной, а по непрерывной продолжительности отдельно для бури и поземка. Возможно, они станут доступны в будущем, и тогда можно будет составить каталог наиболее длительных и интенсивных явлений.

Сезонные особенности пыльных бурь и поземков

Значительное увлажнение подстилающей поверхности, установление снежного покрова снижают вероятность возникновения ПБПП, поэтому можно ожидать, что зимой их количество будет

минимальным. В таблице 10 данные по сезонному числу дней даны для каждого УГМС отдельно, но в отличие от предыдущих таблиц строки упорядочены не по номеру УГМС, а по убыванию общей суммы дней с ПБ/ПП.

Т а б л и ц а 10

Количество дней с пыльной бурей/поземком по УГМС и сезонам

Управление Гидрометслужбы	Количество		Количество дней по сезонам			
	станций	дней	Зима	Весна	Лето	Осень
Северо-Кавказское	118	31 096	892	11 451	12 294	6 459
Забайкальское	96	10 254	279	7 418	1 414	1 143
Западно-Сибирское	96	6 842	119	2 588	2 961	1 174
Омское	56	6 694	1	1 211	4 550	932
Приволжское	78	5 718	7	1 793	2 930	988
Иркутское	58	4 649	182	2 827	1 160	480
Красноярское	60	4 256	201	2 307	1 188	560
Уральское	40	2 655	2	906	1 240	507
Северное	24	2 392	6	186	1 480	720
Якутское	35	957	2	214	661	80
Верхне-Волжское	36	794	3	386	280	125
Камчатское	6	654	2	101	291	260
Дальневосточное	38	434	2	261	104	67
Центрально-Черноземное	29	237	2	92	115	28
Сахалинское	12	138	14	24	69	31
Северо-Западное	11	86	1	19	64	2
Приморское	10	54	2	47	1	4
Мурманское	7	53	1	6	41	5
Колымское	5	14	1	2	5	6
Московское	3	6	0	0	6	0
Итого	818	77 983	1 719	31 839	30 854	13 571
%	—	100	2	41	40	17

Первую строку занимает Северо-Кавказское УГМС, территория которого наиболее подвержена воздействию ПБ/ПП, затем в порядке убывания идут Забайкальское, Западно-Сибирское

и Омское УГМС. Повсеместно заметно ослабление пылевой деятельности зимой – всего 2 % дней от общего количества приходится на зиму, в то время как весной и летом количество дней с ПБ/ПП превышает 30 тысяч, затем ближе к осени их число уменьшается более чем в 2 раза и составляет 13 571 случай.

При общем небольшом количестве пыльных бурь в период с декабря по февраль при неглубоком снежном покрове может возникнуть так называемая «зимняя черная буря», после которой остаются наносы почвы, смешанной со снегом ([1], с.151–159). Случаи зимних пыльных бурь можно установить и по данным Госфонда. Чтобы убедиться в реальности наличия зимних бурь, исследуем количество цепочек, о которых говорилось выше, по сезонам. Если одиночное пылевое явление еще может быть случайно ошибочным, то последовательность дней с ПБ/ПП вряд ли можно считать ошибкой. Расчеты показали, что периоды-цепочки зимой тоже составляют около 2 % от общего количества цепочек (406 цепочек из 17 044), при этом их длительность в основном не превышает 5 дней (96 %), и только 18 оставшихся цепочек длятся дольше, от 6 до 14 дней подряд. В таблице 11 перечислены все случаи ПБ/ПП, начавшиеся с декабря по февраль и длившиеся более 5 дней подряд.

Т а б л и ц а 11

Перечень зимних периодов длительностью более 5 дней

№ п/п	Станция	Номер УГМС	Месяц / год	Число дней	Продолжительность, часы
1	Боковская	13	02.1984	9	118
2	Матвеев Курган	13	02.1984	12	224
3	Кушевская	13	02.1984	9	134
4	Гигант, агро	13	02.1984	14	237
5	Пролетарск	13	02.1984	7	90
6	Юста	13	02.1981	6	80
7	Юста	13	12.1984	6	29
8	Юста	13	01.2005	6	70
9	Утта	13	02.1984	9	88
10	Утта	13	02.1984	7	36

Окончание табл. 11

№ п/п	Станция	Номер УГМС	Месяц / год	Число дней	Продолжительность, часы
11	Усть-Лабинск	13	02.1984	6	96
12	Комсомольский	13	02.1984	9	77
13	Краснощеково	20	01.1979	6	80
14	Минусинск	21	02.1991	6	51
15	Бея	21	02.1977	6	74
16	Алыгджер	22	01.1978	7	47
17	Алыгджер	22	12.1978	11	103
18	Кыра	23	02.1977	6	54

Ситуации в таблице сгруппированы по УГМС, что дает возможность установить регион наиболее частых и длительных зимних бурь. Это Северо-Кавказское УГМС, в котором на 12 станциях наблюдались в разные годы длительные пыльные поземки/бури, причем суммарная продолжительность этих явлений иногда превышала 200 часов. Все случаи возникновения ПБ/ППП чрезвычайной длительности были проверены по таблице «Атмосферные явления, число дней за месяц, данные станций», регулярно публикуемой в Метеорологическом ежемесячнике, часть 2, и все они подтвердились по указанному параметру.

Анализ состояния подстилающей поверхности, скорости ветра и температуры воздуха в день с ПБ/ПП

В связи с возникновением пыльных поземков/бурь, и особенно зимних бурь, вопрос о состоянии подстилающей поверхности приобретает важное значение. Если поверхность покрыта водой, льдом, талым снегом или глубокими сугробами, то можно предположить, что архивные данные сомнительны или в части явления, или в части состояния подстилающей поверхности.

В Госфонде параметр состояния подстилающей поверхности (СПП) начиная с 1986 года архивируется один раз в сутки, причем состояние оценивается отдельно для поверхности, покрытой льдом/снегом и без них. Для оценки полноты сведений об СПП рассчитаем количество случаев с ПБ/ПП за 1986–2005 гг. (47 698 случаев) и количество данных о подстилающей поверхности за тот же период (табл. 12).

Т а б л и ц а 12

Наличие характеристик состояния подстилающей поверхности в суточном макете Госфонда в день с ПБ/ПП, 1986–2005 гг. (количество случаев, проценты)

Количество случаев с ПБ/ПП	Пропущено	Состояние почвы	Состояние снежного покрова	Высота снежного покрова	Степень покрытия
47 698(100)	7 652(16)	39 218(82)	828(2)	399	867

В 16 % случаев с ПБ/ПП какие-либо сведения о состоянии подстилающей поверхности в архиве отсутствовали, степень покрытия окрестностей метеостанции снегом имеется для 867 случаев, из которых примерно половина имеет степень покрытия менее 6 баллов. Оценка состояния поверхности почвы при отсутствии снега дана в 82 % случаев, что составляет около 39 тысяч наблюдений. Кроме того, обращает на себя внимание тот факт, что при имеющейся степени покрытия снегом примерно в половине всех случаев нет сведений о высоте снежного покрова, а в 39 случаях указана степень покрытия, но нет характеристики состояния снежного покрова. Таким образом, полнее всего в архиве представлены данные о подстилающей поверхности при отсутствии снега, которые далее анализируются по четырем укрупненным градациям (табл.13).

Т а б л и ц а 13

Повторяемость характеристики состояния поверхности почвы при отсутствии снежного покрова в день с ПБ/ПП, 1986 – 2007 гг.

Характеристика состояния	Количество случаев	Проценты
Сухая, без пыли и песка	28 864	73,6
Сырая/влажная/покрытая лужами	7 432	19,0
Замерзшая/покрытая коркой льда	1 825	4,7
Покрыта пылью/песком	1 097	2,8

В день с ПБ/ПП поверхность почвы должна быть хотя бы частично покрыта пылью/песком, однако таблица говорит о том, что чаще всего в окрестности станции наблюдатели не видят ни пыли, ни песка. Более того, в 19 % случаев поверхность бывает сырая или влажная, что как будто бы не способствует возникновению ПБ/ПП,

и лишь в 3 % случаев можно наконец-то увидеть соответствие между явлением и состоянием поверхности почвы. Сложно понять причину подобного несоответствия, но можно предположить, что оценивая СПП, наблюдатели не учитывают видимую окрестность станции, как это предписано Наставлениями, а ограничиваются обзором оголенного участка на метеоплощадке.

Что касается скорости ветра в день с ПБ/ПП, то и здесь следует начать с того, что часть данных, а именно около 13 тысяч сообщений о ПБ/ПП не содержат данных о максимальной скорости ветра (17 %). Расчет повторяемости скорости по градациям на базе оставшихся 64 573 случаев показал, что в 80 % дней максимальная за сутки скорость ветра достигала 10–20 м/с, на более высокие значения приходится всего 10 %. В соответствии с работой И.В. Кошеленко [3] пыльная буря при малой влажности почвы может возникать начиная с 8 м/с, но чем выше влажность почвы, тем сильнее должен дуть ветер, чтобы поднять в воздух пыль, и особенно песок, который в общем тяжелее пыли. Принимая во внимание, что в оставшихся 10 % дней скорость ветра была менее 10 м/с, можно считать, что по меньшей мере, в эти дни наблюдалась не буря, а пыльный поземок (6 395 дней).

Чтобы установить диапазон температур воздуха в день с ПБ/ПП, рассчитаем распределение минимальной и максимальной температуры в день с ПБ/ПП. Сразу следует заметить, что из общего количества дней с ПБ/ПП сведения о суточных экстремумах температуры были пропущены примерно в 13 тыс. случаев (примерно 17 %). Оставшиеся данные дают представление о том, что, в целом, сведения об экстремумах не содержат грубых ошибок. Об этом говорит тот факт, что диапазон максимальной температуры сдвинут по отношению к диапазону минимальной в область высоких температур на 20 °С и составляет -50...+49 °С по сравнению с -50...+29 °С для минимальной. Но наиболее часто ПБПП возникают при температуре от 0 до +40 °С.

Многолетнее распределение количества дней с ПБ/ПП

Как уже говорилось выше, количество дней с ПБ/ПП от года к году меняется, наибольшее число дней с ПБ/ПП наблюдалось в 1984 году, наименьшее – в 2005. График многолетнего хода отражает указанные экстремумы, а кроме того, свидетельствует о том, что в многолетнем ходе существует заметный тренд (см. рис.).

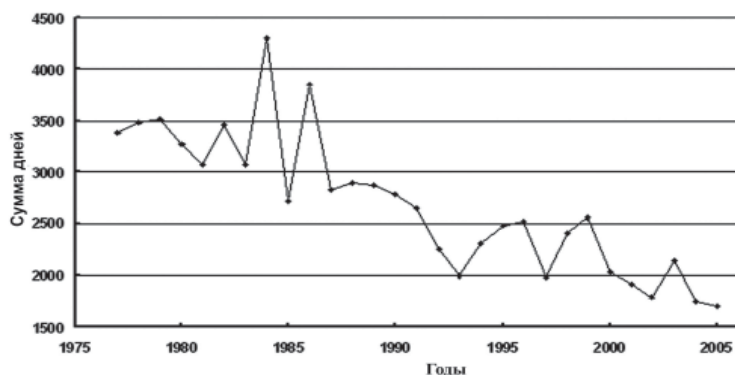


Рис. Многолетний ход суммы дней с пыльной бурей/поземком

В таблице 14 предлагаются оценки статистических параметров многолетних рядов, и в том числе параметров линейного тренда, для четырех УГМС с наибольшим количеством дней (см. табл.10) и в целом на территории России.

Т а б л и ц а 14

Статистические параметры многолетнего ряда
числа дней с ПБ/ПП

Номер УГМС	Среднее	Стандарт	Коэф-фициент вариации	Параметры линейного тренда		
				Свобод-ный член	Коэффи-циент	Уровень зна-чимости, %
13	1 072	348	32	1 463	-26	0,2
17	239	77	32	362	-8	0,02
20	235	75	32	340	-7	0,03
23	353	86	24	487	-9	0,01
Все УГМС	2 689	350	13	3 704	-68	0,01

Как и следовало ожидать, Северо-Кавказское УГМС выделяется по среднему количеству дней за год и, кроме того, имеет значительное среднее квадратическое отклонение (стандарт). Среднее многолетнее число дней в остальных УГМС

значительно меньше, однако для всех характерен высокий коэффициент вариации (отношение стандарта к средней величине). Линейный тренд везде указывает на уменьшение количества дней с ПБ/ПП, а в целом по территории России ежегодное убывание составило 68 дней в год. Уровень значимости линейного тренда, указанный в последней колонке, составляет доли процента, что позволяет считать оценки тренда высоковероятными.

Выводы

Статистическая обработка данных о продолжительности пыльных поземков и бурь в течение суток на 1 699 станциях России за 1977–2005 гг. позволила сделать следующие выводы.

Для исследования вопроса о пыльных поземках/бурях использованы данные суточного макета первичной метеорологической информации, накопленные в Госфонде за 1977–2005 гг.

Анализ показал, что в данных имеются пропуски, которые в статье оценены по количеству метеостанций, представленных данными в каждом году. Установлено, что количество непоступивших метеостанций не превышает 2 % от общего количества станций России и лишь начиная с 1999 года увеличивается до 10 – 12 %. Метеорологические данные, входящие в суточный макет Госфонда, отличаются достаточной полнотой, чтобы отразить основные особенности исследуемого явления.

В число параметров, привлеченных к анализу пыльных поземков и бурь, включены сведения о суточных экстремумах температуры воздуха, скорости ветра и состоянии подстилающей поверхности, включая характеристики снежного покрова. Среди них обнаружено примерно 150 чисел, вызывающих недоверие по причине явного противоречия с метеорологическими закономерностями, что составляет весьма небольшую часть от общего количества векторов с пыльными поземками/бурями.

На всех станциях в сумме за 29 лет найдено около 78 тыс. дней с пыльным поземком или пыльной бурей, что составляет всего лишь 0,5 % от общего количества станций/дней, вычисленного при условии отсутствия пропусков (29 лет наблюдений на 1 699 станциях).

Из общего количества станций на 881-й станции пыльных поземков/бурь не было ни разу за все время (52%), на остальных 818 станциях ПБ/ПП наблюдались, но количество дней с мглой на 497 станциях не превышало 20 дней за весь период (60 %).

Временем частого возникновения пыльных поземков/бурь являются весна и лето, к осени их количество уменьшается, на долю зимнего сезона приходится всего 2 % от общего числа дней с ПБ/ПП.

Наибольшее число дней с ПБ/ПП отмечено на территории Северо-Кавказского УГМС – в общей сложности 31 096 дней, среди других УГМС выделяются Омское, Западно-Сибирское и Забайкальское, в которых число дней с исследуемым явлением в 3–5 раз меньше, чем в Северо-Кавказском. В каждом УГМС найдены станции с наибольшим числом дней с ПБ/ПП, первенство среди них принадлежит калмыцкой станции Утта (2 515 дней), и, как ни странно, ненецкой станции Шойна (2 170 дней), расположенной в песчаной долине.

Из 77 983 дней с ПБ/ПП большая часть (47 196 дней) входит в цепочки, длящиеся от 2 до 20 дней подряд, оставшиеся 30 787 случаев – это одиночные дни, за которыми наступает перерыв. Всего найдено 17 044 цепочек, длительность которых чаще всего не превышает 5 дней и лишь в 5 % случаев составляет от 6 до 20 дней. Факты возникновения цепочек длиной более 15 дней были проверены по материалам, опубликованным в Метеорологическом ежегоднике.

В многолетнем ходе количества дней с ПБ/ПП существует хорошо выраженный нисходящий тренд. Несмотря на отдельные всплески числа дней за год, уменьшение случаев с ПБ/ПП обнаружено в 4 самых «пылевых» УГМС, а в целом по России составило 68 дней в год. Оценки уровня значимости коэффициента линейного тренда свидетельствуют о достоверности выявленных тенденций.

По архивным материалам, несмотря на содержащиеся в них недочеты, все-таки можно правильно установить факты возникновения ПБ/ПП, в частности найти случаи возникновения зимних пыльных бурь, упоминаемые в научной литературе.

Литература

1. Б у ч и н с к и й И.Е. Засухи и суховеи. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – С. 146–171.
2. З а х а р о в П.С. Пыльные бури. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 164 с.
3. К о ш е л е н к о И.В. Некоторые рекомендации к прогнозу пыльных бурь и суховеев // Труды УкрНИГМИ. – 1970. – Вып. 96.
4. С п р а в о ч н и к п о о п а с н ы м природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации. Изд. 2-е. – СПб.: Гидрометеиздат, 1997. – 587 с.

АТМОСФЕРНАЯ МГЛА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Мгла – это сплошное помутнение воздуха из-за наличия в нем частиц пыли, дыма, гари от лесных или торфяных пожаров или промышленных выбросов. Сильное задымление воздуха является неприятным явлением, осложняющим дыхательную функцию человека, особенно когда мгла упорно держится в воздухе при отсутствии ветра. В двух статьях автора анализируются условия возникновения мглы в Московской области и прилегающих областях, интерес к которым возник в связи с частым возникновением мглы в летнее время из-за с возгорания торфяников [1, 2]. Показано, что мгла может образоваться в любое время года, видимость при мгле чаще всего составляет 2–10 км, дует ветер со скоростью не более 5 м/с, направление которого имеет южную (зимой) или восточную (летом) составляющую. Температура во время мглы может иметь любое значение.

Еще одна статья автора на аналогичную тему посвящена анализу мглы на территории ее постоянного ежегодного образования в Прибайкалье [3]. В статье анализируются многолетние климатические особенности атмосферной мглы на 17 станциях Прибайкалья за 1936–2000 гг., а также состояние таких элементов, как видимость, ветер, температура и влажность воздуха во время мглы при условии, что мгла образовалась при температуре выше 0 °С. Важным моментом является вывод о том, что в распределении скорости и направления ветра, температуры и влажности воздуха во время мглы не обнаружено никаких отличий от средней многолетней сезонной картины распределения этих величин в Прибайкалье.

Исследование повторяемости и условий образования мглы в нескольких, относительно небольших, регионах привело к мысли о необходимости выявления частоты образования мглы на всей территории России, тем более, что это явление до сих пор не было изучено климатологами, и в литературе не удалось обнаружить работ на данную тему. Тот факт, что мгла до сих пор не привлекала внимание специалистов, отражается и в том

обстоятельстве, что в макет архивируемых величин в период до 1984 года включен лишь факт ее наличия в течение суток или в срок наблюдения, а такой важный параметр, как продолжительность, архивируется не ранее 1984 года [4].

В данной статье, в отличие от предыдущих, анализу подвергается материал о наличии мглы в отдельные дни и не рассматриваются такие обстоятельства ее возникновения, как видимость, ветер, температура и влажность, сопутствующие ее образованию, что было бы затруднительно сделать, представляя результаты по огромной территории. Цель статьи – дать анализ частоты мглы в течение года, исследовать изменчивость ее возникновения от года к году и неравномерность образования мглы по территории.

Исходные данные

Исходным материалом являются многолетние ряды данных о наличии атмосферных явлений на 1 763 станциях России за 1977–2005 гг., что составляет 29 лет. Сведения о явлениях входят в состав двух типов архивов, хранящихся и постоянно пополняемых в Государственном фонде данных, из которых архив суточного разрешения включает сведения о наличии явлений в течение суток. Данные именно этого архива были использованы для расчетов повторяемости мглы, но прежде чем приступить к анализу результатов, следует уделить внимание полноте информации о явлениях, и в том числе о мгле, в архиве суточного разрешения. Чтобы примерно оценить полноту данных, рассчитаем количество станций, данные которых поступили в Госфонд в каждом году (табл.1).

Т а б л и ц а 1

Сумма дней с мглой и количество метеостанций с мглой и без мглы, 1977–2005 гг. (всего метеостанций 1763)

Год	Сумма дней	Количество станций / %		
		без мглы	с мглой	всего
1977	3 452	1 094/ 68	510/ 32	1 604/ 91
1978	2 805	1 247/ 74	446/ 26	1 693/ 96
1979	4 006	1 199/ 71	500/ 29	1 699/ 96
1980	3 000	1 322/ 77	388/ 23	1 710/ 97
1981	2 639	1 299/ 76	417/ 24	1 716/ 97
1982	1 807	1 406/ 82	313/ 18	1 719/ 98

Окончание табл. 1

Год	Сумма дней	Количество станций / %		
		без мглы	с мглой	всего
1983	1 587	1 460/ 85	267/ 15	1 727/ 98
1984	3 513	1 255/ 73	471/ 27	1 726/ 98
1985	5 263	1 198/ 71	499/ 29	1 697/ 96
1986	4 478	1 203/ 72	458/ 28	1 661/ 94
1987	3 847	1 339/ 77	402/ 23	1 741/ 99
1988	2 438	1 409/ 81	327/ 19	1 736/ 98
1989	3 274	1 268/ 73	459/ 27	1 727/ 98
1990	2 818	1 267/ 73	461/ 27	1 728/ 98
1991	1 937	1 453/ 84	270/ 16	1 723/ 98
1992	1 675	1 434/ 84	282/ 16	1 716/ 97
1993	1 894	1 380/ 80	335/ 20	1 715/ 97
1994	1 592	1 425/ 84	279/ 16	1 704/ 97
1995	607	1 513/ 91	155/ 9	1 668/ 95
1996	3 545	1 190/ 73	446/ 27	1 636/ 93
1997	1 158	1 360/ 84	264/ 16	1 624/ 92
1998	5 851	1 176/ 74	410/ 26	1 586/ 90
1999	1 621	1 200/ 78	343/ 22	1 543/ 88
2000	1 958	1 264/ 80	308/ 20	1 572/ 89
2001	1 907	1 183/ 77	357/ 23	1 540/ 87
2002	6 306	859/ 56	676/ 44	1 535/ 87
2003	8 686	962/ 61	619/ 39	1 581/ 90
2004	1 351	1 293/ 82	290/ 18	1 583/ 90
2005	1 999	1 190/ 76	372/ 24	1 562/ 89
Сумма	87 014	36 848/ 76	11 324/ 24	48 172/ 94

В таблице приведена сумма дней с мглой в каждом году, исчисленная по всем станциям вместе, а затем дано количество станций, на которых мглы не было. Далее следует количество станций, на которых был хотя бы один день с мглой за год. Сумма станций, попавших в обе категории, стоит в предпоследнем столбце, а затем дана оценка количества станций с данными по сравнению с общим количеством станций 1 763. Именно эта цифра указывает, какая доля данных в архиве отсутствует. Например,

в 2005 году на 1 190 станциях мгла не наблюдалась ни разу, 372 станции отметили мглу в общей сложности 1 999 раз, вместе эти станции составили цифру 1 562, что в процентах от общего количества станций 1 763 составляет 89 %. Таким образом, в 2005 году данные примерно 200 станций поступали в Госфонд с пропусками ($1\,763 - 1\,562 = 201$).

Количество метеостанций, данные по которым в отдельные годы отсутствовали, не превышает 13 % и в течение 29 лет меняется незначительно. После 1995 года происходит некоторое уменьшение количества данных, связанное, по-видимому, с прекращением наблюдений на части станций. В среднем за все годы пропущено не более 6 % данных, от года к году пропуски могут составлять от 1 до 13 %.

В итоговой строке стоит погодичная сумма дней или метеостанций с мглой / без мглы, но ее следует воспринимать именно как суммарную за 29 лет, помня о том, что число и состав станций, данные которых исследуются в статье, от года к году существенно меняются. Итоговые цифры всего лишь оценивают долю метеостанций без мглы и с мглой в общем количестве станций, а поскольку часть данных неравномерно отсутствует и эта неравномерность относится и к пространству и ко времени, то при вычислении среднего за 29 лет получается цифра меньшая, чем количество всех станций с данными: $48172/29 = 1661$, что заметно меньше 1 763 станций. Достигуть соответствия можно лишь при полном наличии данных, что, учитывая разнообразие причин пропусков, практически невозможно.

Многолетнее количество метеостанций, на которых мглы в отдельные годы не было, составляет 76 %, но если мгла возникла хотя бы 1 раз в год, то метеостанция попадала в разряд станций с мглой, суммарное количество которых составляет 24 % от общего. В отдельные, экстремальные, годы станций с мглой становилось больше. Ситуация с мглой была самой лучшей в 1995 году и самой тяжелой – в 2003 году, когда 44 % станций отметили наличие мглы. Количество суток с мглой за год в сумме по всем метеостанциям содержится во втором столбце таблицы. Всего найдено 87 014 суток, но следует пояснить, что эта абсолютная цифра составляет всего 0,5 % от суммарного максимально возможного числа суток (29 лет, 1 763 станции, 365–366 суток за год). Минимальное количество суток было все в том же 1995 году и составило 607 дней за год, в отличие от экстремального 2003 года с 8 686 сутками. Таким образом, мгла

относится к редким явлениям, но она возникает неравномерно во времени и пространстве, и дальнейшие расчеты помогут выявить эти особенности.

Территориальные особенности возникновения мглы на территории России

Метеорологическое обслуживание в нашей стране производится территориальными управлениями Гидрометслужбы (УГМС), названия которых примерно отражают их расположение, а номера закреплены за ними как неизменные признаки. Придерживаясь сложившегося за много лет разделения территории России на УГМС, произведем анализ количества станций по грациям суммы дней с мглой за весь период (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Распределение количества станций по грациям
суммы дней с мглой за 1977–2005 гг.

№ УГМС	Название УГМС	Коли- чество станций	Градации суммы дней					Все- го
			0	1–10	11–100	101–500	>500	
1	Северное	119	18	51	41	7	2	101
2	Мурманское	41	20	16	3	2	–	21
3	Северо-Западное	105	26	41	35	3	–	79
8	Центральное	18	1	1	11	5	–	17
9	Уральское	99	18	49	29	2	1	81
12	Приволжское	115	20	62	26	7	–	95
13	Северо-Кавказское	142	33	67	40	2	–	109
17	Омское	81	4	22	53	2	–	77
20	Западно-Сибирское	126	10	51	61	3	1	116
21	Красноярское	113	10	35	62	6	–	103
22	Иркутское	90	–	–	59	29	2	90
23	Забайкальское	107	–	–	48	58	1	107
24	Якутское	120	4	16	76	24	–	116
25	Дальневосточное	100	–	3	43	51	3	100
26	Приморское	44	–	7	33	4	–	44
27	Камчатское	34	4	20	10	–	–	30

Окончание табл. 2

№ УГМС	Название УГМС	Количество станций	Градации суммы дней					Всего
			0	1–10	11–100	101–500	>500	
28	ЦЧО	61	6	24	25	5	1	55
29	Верхне-Волжское	102	11	26	49	14	2	91
33	Колымское	43	2	9	32	–	–	41
34	Сахалинское	40	3	8	18	9	2	37
35	Полярные УГМС	63	13	22	26	1	1	50
Сумма		1 763	203	530	780	234	16	1 560
%		100	12	30	44	13	1	88

Из 1763 станций 203 станции ни разу мглу не наблюдали (12 %), оставшиеся 1 560 станций распределены по 5 неравномерным градациям суммы, из которых наибольшую частоту имеет градация 11–100 дней (44 %) и намного меньше станций попадает в градацию 101–500 дней. Станций с количеством дней более 500 совсем мало – 16 станций на всей территории, а станций с количеством дней не более 10 за весь период довольно много – 30 %. В общей картине распределения мглы получается, что на 42 % станций мглы или никогда не бывает или же ее образование является исключительным фактом. На оставшихся 58 % (1 030 станций) мгла – явление не такое уж редкое, а на территории некоторых УГМС – довольно частое. Еще раз подчеркнем, что приведенные цифры оценивают частоту мглы в сумме за 29 лет, в дальнейшем изложении они будут детализированы во времени и пространстве.

Годовой ход повторяемости суммы дней с мглой

Мгла – сезонное явление. Повторяемость мглы в течение года неравномерна, зимой она формируется реже, чем летом, но и летом в ее повторяемости можно увидеть некоторые трудно объяснимые особенности, такие как увеличение мглы в мае по сравнению с предшествующими 4 месяцами, уменьшение почти в 2 раза в июне и значительное увеличение в июле и августе (рис.1).

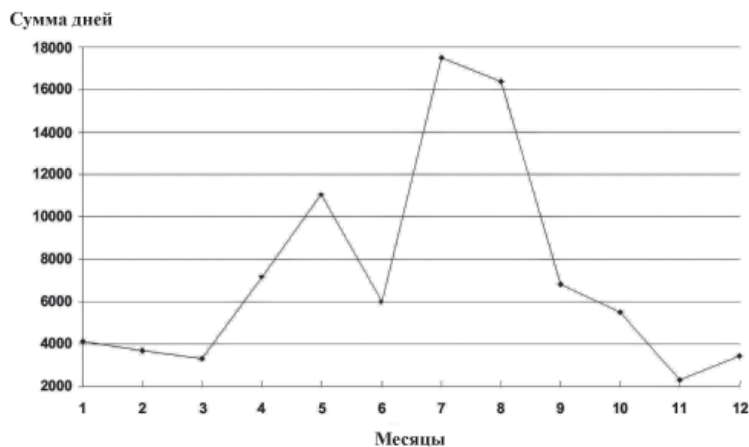


Рис. 1. Годовой ход суммы дней с мглой (1 763 станции)

Естественным выглядит увеличение в мае, оно может быть объяснено повышением горимости леса, торфа или прошлогодней травы, но почему в июне происходит спад, который затем сменяется резким увеличением в июле и августе, понять пока затруднительно. Еще более заметными сезонные особенности становятся при суммировании по кварталам (табл.3).

Т а б л и ц а 3

Распределение суммы дней с мглой по кварталам

№ УГМС	Название УГМС	Номер квартала				Год	%
		I	II	III	IV		
1	Северное	2 164	382	996	1 318	4 860	6
2	Мурманское	213	84	78	132	507	1
3	Северо-Западное	196	298	1 319	102	1 915	2
8	Центральное	169	441	612	101	1 323	2
9	Уральское	668	332	900	402	2 302	3
12	Приволжское	375	625	697	287	1 984	2
13	Северо-Кавказское	456	666	377	391	1 890	2
17	Омское	43	229	1 858	147	2 277	3
20	Западно-Сибирское	390	801	1 866	555	3 612	4
21	Красноярское	88	765	2 453	127	3 433	4
22	Иркутское	903	2 697	4 868	751	9 219	11

Окончание табл. 3

№ УГМС	Название УГМС	Номер квартала				Год	%
		I	II	III	IV		
23	Забайкальское	989	7 804	4 237	1 508	14 538	17
24	Якутское	22	610	6 534	29	7 195	8
25	Дальневосточное	175	4 306	6 087	1 968	12 536	14
26	Приморское	215	793	244	388	1 640	2
27	Камчатское	7	41	180	41	269	0
28	ЦЧО	398	682	1 040	379	2 499	3
29	Верхне-Волжское	1 478	1 566	2 889	805	6 738	8
33	Колымское	2	122	981	5	1 110	1
34	Сахалинское	1 845	574	1 243	1 675	5 337	6
35	Полярные УГМС	207	326	1 196	101	1 830	2
Сумма		11 003	24 144	40 655	11 212	87 014	100

Если в I и II кварталах количество суток составляет около 11 тысяч, то в III квартале оно повышается до 40 655. Таблица 3 демонстрирует распределение мглы по УГМС, среди которых выделяется Забайкальское, на территории которого мгла – довольно частое явление (14 538 дней с мглой в сумме по всем станциям). В Дальневосточном и Иркутском УГМС мгла также нередкое явление, причем она наблюдается чаще, чем на территории других УГМС не только летом, но и зимой. Из других особенностей хотелось бы отметить увеличение мглы в Мурманском УГМС зимой по сравнению с летом при общем малом количестве дней с мглой, а также указать на Камчатское и Колымское УГМС как на территории с малым количеством дней с мглой. Вклад каждого УГМС в общую сумму дней с мглой, составляющую, как уже говорилось, выше 87 014, дан в последнем столбце таблицы. В целом надо еще раз подчеркнуть, что Иркутское, Забайкальское и Дальневосточное УГМС находятся в числе главных «вкладчиков» в общее число дней с мглой, а также сделать вывод, что мгла хотя и редко, но может возникнуть на любой территории и в любое время года, но ее образование, по-видимому, должно тяготеть к тем районам, где есть горючий материал, например торф или дерево, или же работают предприятия, загрязняющие атмосферу.

Особенности многолетнего распределения мглы на территории УГМС

Поскольку образование мглы происходит под воздействием местных факторов, естественно ожидать, что межгодовая изменчивость суммы дней с мглой должна быть довольно велика, и чтобы в этом убедиться, рассмотрим график многолетнего хода, построенный по данным первого и второго столбцов таблицы 1 (рис.2).

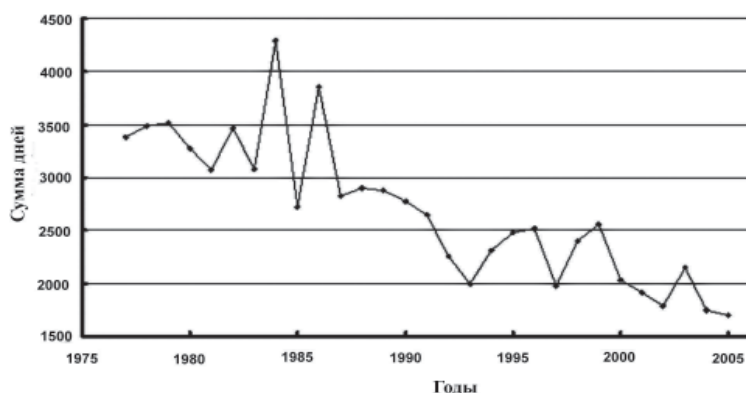


Рис.2. Многолетний ход суммы дней с мглой (1 763 станции)

На фоне среднего количества дней с мглой, находящегося в диапазоне от 2 до 4 тысяч в год, выделяются 4 года, когда превышено значение в 5 000. Это годы 1985, 1998, 2002 и 2003. В отличие от них в 1995 году был спад мглы и сумма дней была на порядок (в 10 раз) меньше. Меняется ли вклад каждого УГМС в общую сумму дней с мглой или же есть такие территории, где мглы всегда больше, чем в других районах? Чтобы прояснить этот вопрос, рассмотрим, каков вклад каждого УГМС в повторяемость мглы в указанные экстремальные годы (табл. 4).

В целом за 4 года отмечено 26 106 дней с мглой. Принимая эту цифру за основу, рассчитаем долю каждого УГМС (предпоследний столбец таблицы). Хорошо заметно, что наибольшее количество

Т а б л и ц а 4

Сумма дней с мглой в экстремальные годы

Управление Гидрометслужбы	Экстремальный год						
	1985	1998	2002	2003	Сумма	%	1995
Северное	171	169	272	60	672	3	64
Мурманское	43	7	5	5	60	0,2	6
Северо-Западное	20	3	820	38	881	3	23
Центральное	18	2	325	10	355	1	2
Уральское	90	19	59	59	227	0,9	38
Приволжское	87	16	174	130	407	2	10
Северо-Кавказское	56	22	85	58	221	0,8	2
Омское	31	8	52	97	188	0,7	7
Западно-Сибирское	121	26	36	152	335	1	5
Красноярское	373	15	190	117	695	3	18
Иркутское	562	126	189	2 078	3 955	15	114
Забайкальское	1 298	678	483	3 762	6 221	24	121
Якутское	801	691	776	228	2 496	10	45
Дальневосточное	137	2 896	524	868	4 425	17	44
Приморское	13	102	139	161	415	2	7
Камчатское	2	68	0	51	121	0,5	0
Центр.-Черноземное	73	24	579	36	712	3	6
Верхне-Волжское	306	130	1 402	126	1 964	8	46
Колымское	9	39	0	220	268	1	1
Сахалинское	0	806	95	192	1 093	4	22
Полярные УГМС	52	4	101	238	395	2	26
Сумма	5 263	5 851	6 306	8 686	26 106	100	607

дней с мглой наблюдалось на станциях четырех УГМС: Иркутско-го, Забайкальского, Якутского и Дальневосточного, – и значительно меньше таких дней было в Верхне-Волжском УГМС (8 %). В отдельных УГМС мглы было совсем мало или не было совсем, но в 2003 году мгла стала повсеместным явлением и в целом по России ее повторяемость составила более 8 000 дней.

В последнем столбце таблицы дана повторяемость мглы в год с минимальным ее количеством (1995 год), когда сумма дней составила всего 607. Сравнивая повторяемость мглы в 2003 году

с мглой в 1995 году, отметим, что даже в самый «минимальный» год, каким является 1995, наибольший вклад внесли в 607 дней все те же четыре управления, отмеченные выше, но при этом повторяемость в «максимальные» годы превысила таковую в 1995 году в 40 – 50 раз, а в Дальневосточном УГМС – даже в 100 раз. Таким образом, на востоке нашей страны ситуация с мглой явно неблагоприятная, «мглистые» дни являются здесь привычным явлением, вспышка их количества может произойти в любой год, и вклад восточных УГМС в общую сумму дней с мглой намного больше всех остальных.

Повторяемость мглы на метеостанциях с максимальным количеством дней с мглой

Зная сумму дней в каждом УГМС, зададимся вопросом, насколько характерна мгла для территории всего УГМС или же она возникает всего на двух-трех станциях, которые и формируют общую картину. С этой целью рассмотрим данные таблицы 5, содержащей сведения о станциях с максимальным количеством дней с мглой по УГМС.

Т а б л и ц а 5

Перечень станций с максимальным количеством дней
с мглой по УГМС

№ УГМС	Индекс ВМО	Название станции	Сумма дней с мглой		
			на станции	в УГМС	%
1	23226	Воркута	1 422	4 860	29
2	22212	Мончегорск	187	507	37
3	22802	Сортавала	303	1 915	16
8	27519	Москва	316	1 323	24
9	28028	Березники	728	2 302	32
12	28900	Самара	269	1 984	14
13	37235	Грозный	365	1 890	19
17	23867	Ларьяк	183	2 277	8
20	29749	Киселевск	734	3 612	20
21	23179	Снежногорск	175	3 433	5
22	30711	Шелехов	930	9 219	10
23	30758	Чита, город	1 851	14 538	13
24	24763	Крест-Хальджай	279	7 195	4

Окончание табл. 5

№ УГМС	Индекс ВМО	Название станции	Сумма дней с мглой		
			на станции	в УГМС	%
25	31735	Хабаровск	576	12 536	5
26	31873	Дальнереченск	195	1 640	12
27	25648	Слаутное	28	269	10
28	27719	Тула	527	2 499	21
29	27553	Нижний Новгород	1 663	6 738	25
33	25611	Балыгычан	89	1 110	8
34	32150	Южно-Сахалинск	2 178	5 337	41
36	23176	Исток	706	1 830	39
Сумма			13 704	87 014	16

Сравнивая сумму дней на станции, занимающей 1-е место, с суммой дней на всех станциях УГМС, можно видеть, что в Мурманском, Уральском, Сахалинском и Полярных УГМС доля «главной» станции составляет более 30 %, а в среднем по всем УГМС доля главных станций составила 16 %. Максимальное число дней с мглой имеет Южно-Сахалинск (2 178), что составляет 41 % от суммы Сахалинского УГМС. Чита, Воркута и Нижний Новгород также числятся в самых «мглистых» станциях, но Чита в Забайкальском УГМС не занимает особого места по мгле, ее вклад в общую сумму составляет всего 13 % в отличие от Воркуты и Нижнего Новгорода, вклад которых в 2 раза больше. Дополнительную информацию к вопросу о распространенности мгли по территории УГМС содержит таблица 6, в которой даны оценки вклада не одной, а двух первых станций с наибольшим количеством мгли.

В процентном отношении вклад первых двух станций в общую сумму дней с мглой минимален в таких УГМС, на территории которых мгла весьма распространена, это УГМС Якутское и Дальневосточное, и наоборот, чем выше вклад двух станций, тем больше оснований считать, что мгла в основном сгущается всего на нескольких избранных станциях, как, например, это происходит в Мурманском и Сахалинском УГМС (54 и 66 %). Если придерживаться этого критерия, то можно, кроме того, отметить Омское, Забайкальское, Иркутское и Колымское УГМС как территории с широким распространением мгли.

Т а б л и ц а 6

Вклад первых двух станций с максимальным количеством дней
с мглой в общую сумму дней с мглой по УГМС

№ УГМС	Сумма дней с мглой				
	1-я ст.	2-я ст.	Всего	УГМС	%
1	1 422	509	1 931	4 860	40
2	187	149	336	507	66
3	303	217	520	1 915	27
8	316	316	632	1 323	48
9	728	253	981	2 302	43
12	269	206	475	1 984	24
13	365	162	527	1 890	28
17	183	111	294	2 277	13
20	734	220	954	3 612	26
21	175	164	339	3 433	10
22	930	732	1 662	9 219	18
23	1 851	410	2 261	14 538	16
24	279	223	502	7 195	7
25	576	528	1 104	12 536	9
26	195	140	335	1 640	20
27	28	21	49	269	18
28	527	245	772	2 499	31
29	1 663	545	2 208	6 738	33
33	89	88	177	1 110	16
34	2 178	727	2 905	5 337	54
35	706	143	849	1 830	46
Сумма	13 704	6 109	19 813	87 014	23

Насколько постоянным является возникновение мглы из года в год, не происходит ли вспышка мглы на избранных станциях лишь изредка, в отдельные годы, или же мгла является привычным явлением – на эти вопросы дает ответ таблица 7, в которой дано распределение годового числа дней с мглой на станциях, перечисленных выше, в таблице 5.

Годовые суммы были распределены по грациям от нулевой, показывающей число лет без мглы, до градации более 100 дней за год.

Т а б л и ц а 7

Распределение годовой суммы дней с мглой на станциях с максимальной повторяемостью мглы, 1977–2005 гг.

№ УГМС	Название станции	Всего лет	Градации годовой суммы дней				
			0	1–10	11–50	51–100	>100
1	Воркута	29	0	0	14	15	–
2	Мончегорск	28	3	21	4	–	–
3	Сортавала	29	6	15	8	–	–
8	Москва	22	7	5	10	–	–
9	Березники	29	0	6	19	4	–
12	Самара	29	5	15	8	1	–
13	Грозный	19	1	6	12	–	–
17	Ларьяк	28	9	13	5	1	–
20	Киселевск	29	16	2	3	8	–
21	Снежногорск	29	14	5	10	–	–
22	Шелехов	15	0	0	3	11	1
23	Чита, город	29	3	2	6	12	6
24	Крест-Хальджай	29	7	14	8	–	–
25	Хабаровск	29	1	15	11	2	–
26	Дальнереченск	28	3	17	8	–	–
27	Слаутное	26	21	4	1	–	–
28	Тула	29	4	7	16	2	–
29	Нижний Новгород	29	2	5	11	5	6
33	Балыгчан	29	20	6	3	–	–
34	Южно-Сахалинск	28	0	0	8	10	10
35	Исток	23	8	2	7	5	1
Сумма		565	130	160	175	76	24
%		100	23	28	31	13	4

Цифры в таблице показывают число лет с той или иной градацией дней. Как и следовало ожидать, часть данных пропущена, на это указывают числа 3-го столбца, отличающиеся от 29 лет. Всего было найдено 565 годовых сумм, из которых 130 равны нулю, то есть мглы не было в 130 случаях, что составило 23 %. Сравнивая эту оценку с аналогичной оценкой по тому же периоду лет, но сделанную по

всем станциям и приведенную в таблице 1 (76%), делаем вывод, что на избранных, самых «мглистых» станциях количество лет с мглой гораздо выше, чем на прочих. В следующие две градации, 1–10 дней и 11–50 дней, годовая сумма попадает чаще всего, их совместная повторяемость достигает 59 %. На долю градации 51–100 приходится гораздо меньше лет – всего 13 % – и совсем мало лет, когда число дней за год на отдельной станции составило более 100.

По характеру распределения станции можно разделить на две группы. В первую группу отнесем станции, на которых мгла бывает ежегодно и сумма за год всегда больше 10 дней. Это станции с нулевыми значениями в первых двух градациях. Наиболее заметный представитель этой группы – Южно-Сахалинск. Но есть и другие станции, на которых мгла – редкое явление, число лет без мглы составляет 14–21 год, а сумма за год не превышает 50 дней (4 станции). Станции третьего типа занимают промежуточное положение между этими двумя группами.

Выводы

Статистическая обработка данных о наличии мглы в течение суток на 1763 станциях России за 1977–2005 гг. позволила сделать следующие выводы.

1. Исходные данные о наличии мглы в течение суток в указанный период отличаются малым количеством пропусков, которое лишь в одном из лет достигло 13 %, а в основном не превышало 2 %. Метеорологические данные, входящие в суточный макет Госфонда, отличаются достаточной полнотой, чтобы отразить основные особенности исследуемого явления.

2. На всех станциях в сумме за 29 лет найдено около 87 тысяч дней с мглой, что составляет всего лишь 0,5 % от общего количества станций/дней, вычисленного при условии отсутствия пропусков (29 лет $\times$ 1 763 станции).

3. Из общего количества станций на 203 станциях мглы не было ни разу за все время (12%), на остальных 1 560 станциях мгла наблюдалась, но количество дней с мглой на 30 % станций не превышало 10 дней за весь период.

4. Мгла чаще образуется в период с мая по сентябрь, чем в остальное время, при этом в июне происходит необъяснимый спад числа дней с мглой по сравнению с маем и резкое увеличение числа

дней с мглой в июле и августе. Мгла в III квартале составляет более половины всех случаев мглы за год.

5. Временная неравномерность мглы имеется не только в течение года, но и в многолетнем ходе числа дней за год. Наряду с годами с малым числом дней (1995), есть годы, когда сумма дней резко возрастает (1985, 1998, 2002, 2003).

6. Наибольшее число дней с мглой наблюдается на территории восточных УГМС – Иркутского, Забайкальского, Дальневосточного и Якутского. Их вклад в общую сумму дней с мглой превышает вклад других УГМС во все годы.

7. Четыре станции являются «рекордсменами» по мгле. Это Южно-Сахалинск (2 178 дней), Чита (1 851), Воркута (1 422) и Нижний Новгород (1 663).

Литература

1. А п а с о в а Е.Г. Атмосферная мгла в Прибайкалье в теплый период года // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – Обнинск, 2007. – Вып.173. – С.171–194.
2. А п а с о в а Е.Г. Параметры атмосферной мглы в Москве и Московской области в 1966–2000 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – Обнинск, 2007. – Вып.173. – С.195–214.
3. А п а с о в а Е.Г. Климатические характеристики атмосферной мглы в Нечерноземной зоне по данным за 1936–2000 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – Обнинск, 2003. – Вып 171. – С. 108–126.
4. А п а с о в а Е.Г., П у г о л о в к и н В.В., Ш а к и р з я н о в И.З. Некоторые вопросы подготовки рядов метеорологических наблюдений на базе архивов ЕГФД // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – Обнинск, 2010. – Вып. 174. – С. 275 – 287.

ЖАРКАЯ ПОГОДА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

В последние годы в условиях глобального потепления в Центральной и Восточной Европе резко возросло число жарких дней, когда максимальная температура повышается до 30 °С и более. Такие дни экстремально жаркого периода, связанные с волнами тепла, являются очень опасным природным явлением, ибо с ними возрастает частота пожаров, наводнений, увеличивается площадь территории с засухами, увеличиваются риски для здоровья населения и др., т.е. оказывают существенное влияние на многие отрасли экономики и сообщество людей [1].

Термины «волны тепла», а также «волны холода» в метеорологической науке хорошо известны и довольно часто применяются при рассмотрении месячного хода температуры воздуха, когда необходимо выделить периоды, близкие к норме или выше (ниже) нее. Периоды с отклонениями от месячной нормы в пределах $\pm 5-7$ °С исследователями принимались за волны тепла или холода [2, 3]. Для установления местных особенностей климата нередко исследователями рассматриваются еще климатические волны тепла или холода [4, 5]. При выявлении этой особенности местного климата проводилась сглаженная кривая годового хода по 12-месячным значениям (нормам), а затем вторая кривая – по осредненным значениям для каждого дня за все годы имеющегося ряда наблюдения за температурой воздуха. При сравнении этих двух кривых за волну тепла (холода) принимается положение, когда значения фактической (несглаженной) кривой лежит выше (ниже) значения синусоидальной (сглаженной) кривой. Такие периоды в ходе температуры воздуха и было принято называть климатическими волнами тепла, а периоды обратного соотношения – волнами холода, при этом за волну принималась продолжительность 3 дня и более. Естественно, для каждого географического региона выявленные волны тепла и холода не одинаковы и в большей степени зависят от распределения среднемесячных температур воздуха в регионах.

Для выявления региональных особенностей распределения жарких дней по территории Европейской части России были при-

няты такие погодные условия, когда максимальная температура воздуха достигает критических значений и нередко продолжается в течение нескольких дней (по всей территории или ее части). Косвенной характеристикой жаркого периода послужило число дней с максимальной температурой воздуха 30 °С, ибо принято считать, что при такой температуре нарушается нормальная деятельность человека и многих отраслей экономики, особенно сельскохозяйственного производства [6].

Исходя из этого положения из суточного метеорологического архива были выбраны дни с максимальной температурой 30 °С и выше продолжительностью от одного и более дней. Включение в базу данных случаев с однодневными выбросами 30 °С является вполне оправданным, потому что такие пики сопровождаются, как правило, довольно продолжительным периодом с температурой только на несколько градусов ниже критической. Временные ряды созданы по 32 станциям за 36-летний период, с 1971 по 2006 г., с мая по август.

На основании этих данных составлена табл.1, в которой приведена характеристика жаркой погоды (повторяемость числа дней и периодов с различной продолжительностью) по станциям, равномерно распределенным по четырем федеральным округам Европейской части России.

Из анализа табл.1 следует, что распределение жарких дней по месяцам теплого периода во всех округах было аналогичным, т.е. с мая к июлю наблюдалось увеличение их количества и снижение – к августу. В мае в Северо-Западном округе повторяемость жарких дней была близка к нулю, но по мере смещения к югу повторяемость на станциях увеличивается и в Южном округе в среднем достигает почти 7% от общего числа дней рассматриваемого периода. В июне повторяемость становится более заметной, но максимум наблюдается в июле. Рассматривая количество случаев с жаркими днями за месяцы теплого периода, можно выделить в округах группу станций, где их количество сравнительно сопоставимо между собой. К таким, например, относятся станции, расположенные в восточной части Северо-Западного округа – Печора, Сыктывкар. На данных станциях наблюдалось самое большое количество жарких дней (соответственно 124, 130) по сравнению с другими станциями округа, где их в среднем было в 3 раза меньше.

Таблица 1

Характеристика жаркой погоды

Станция	Повторяемость (%) жарких дней				Общее число случаев	Повторяемость (%) периодов различной продолжительности жарких дней с V по VIII				
	V	VI	VII	VIII		V–VIII	1	2-3	4-5	6>
Северо-Западный округ										
Кемь-Порт	0,0	0,1	0,2	0,3	6	80,0	20,0	0,0	0,0	5
Петрозаводск	0,0	0,6	1,1	0,2	20	58,3	41,7	0,0	0,0	12
Санкт-Петербург	0,1	2,3	2,9	0,9	68	62,5	32,5	5,0	0,0	40
Псков	0,3	1,5	3,6	1,4	75	72,3	19,1	6,4	2,1	47
Вологда	0,1	1,9	5,4	1,6	99	48,9	35,6	8,9	6,7	45
Архангельск	0,1	1,8	3,8	0,4	67	48,5	42,4	3,0	6,1	33
Печора	0,2	2,3	7,9	0,8	124	53,2	32,3	12,9	1,6	62
Сыктывкар	0,0	3,1	7,8	0,8	130	54,1	29,5	9,8	6,6	61
Среднее	0,1	1,7	4,1	0,8	74	59,7	31,6	5,8	2,9	38
Центральный округ										
Москва	0,9	3,7	6,7	2,3	51	41,3	38,1	12,7	7,9	63
Смоленск	0,1	0,7	2,8	1,1	52	51,9	44,4	0,0	3,7	27
Елаьта	1,4	6,6	9,9	5,2	255	38,1	42,3	9,3	10,3	97
Курск	1,2	4,7	6,9	5,4	201	46,9	41,7	8,3	3,1	96
Тамбов	2,6	12,1	16,4	10,3	458	35,3	37,7	19,2	7,8	167
Каменная Степь	1,9	12,3	15,2	14,8	489	43,5	34,5	16,0	6,0	200
Воронеж	2,8	12,6	15,6	13,1	487	39,2	36,0	17,7	7,0	186
Среднее	1,5	7,5	10,5	7,5	299	42,3	39,2	11,9	6,5	119
Приволжский округ										
Киров	0,1	4,1	9,2	2,2	173	35,8	44,8	11,9	7,5	67
Нижний Новгород	0,4	4,3	7,6	4,0	180	52,7	28,4	9,5	9,5	74
Казань	1,2	8,3	13,2	6,5	323	43,4	28,3	15,9	12,4	113
Пермь	0,4	6,0	10,0	2,8	212	49,4	25,3	17,2	8,0	87
Самара	2,7	15,6	21,3	12,7	579	37,7	40,2	7,8	14,2	204

Окончание табл. 1

Станция	Повторяемость (%) жарких дней				Общее число случаев	Повторяемость (%) периодов различной продолжительности жарких дней с V по VIII				
	V	VI	VII	VIII		1	2-3	4-5	6>	Число случаев V-VIII
Саратов	3,9	21,4	32,3	21,4	874	36,6	35,2	11,7	16,5	273
Оренбург	6,4	29,3	40,1	27,9	1145	34,9	33,0	14,2	17,9	352
Уфа	3,2	13,6	16,3	7,8	452	44,4	38,4	10,1	7,1	198
Среднее	2,3	12,8	18,7	10,7	492	41,9	34,2	12,3	11,6	171
Южный округ										
Волгоград	3,5	23,9	41,4	31,5	1111	30,7	33,7	14,9	20,8	303
Ростов	3,9	22,3	39,7	33,3	1099	30,6	34,9	15,6	18,9	307
Астрахань	7,5	43,1	70,5	55,0	1950	31,1	25,3	15,4	28,1	434
Элиста	7,3	35,3	61,0	55,9	1768	28,1	29,1	16,3	26,5	392
Краснодар	5,3	16,8	44,2	42,6	1208	27,7	36,1	12,6	23,5	310
Сочи	0,9	3,6	12,5	12,2	325	45,2	45,2	2,1	7,5	146
Махачкала	0,6	9,4	27,9	22,4	669	54,0	30,2	7,0	8,7	298
Нальчик	0,4	7,2	25,4	20,3	593	38,7	31,9	17,2	12,3	204
Геленджик	0,7	3,1	22,0	23,2	546	40,9	35,6	13,5	10,1	208
Среднее	3,3	18,3	38,3	32,9	1030	36,3	33,5	12,7	17,4	289

На станциях северной и центральной частей Центрального округа было от 50 до 225 жарких дней, но наибольшее их количество в среднем наблюдалось в юго-восточной части округа – 478 дней, что почти в 4 раза больше, чем в Северо-Западном округе. Эта часть территории является самым жарким местом в округе. В Приволжском округе можно выделить также районы с числом случаев с жаркими днями, сопоставимые между собой. К таким районам можно отнести группу станций в северной части округа (Киров, Пермь, Нижний Новгород) с количеством жарких дней от 173 до 212. Самая высокая повторяемость за 36-летний период наблюдалась в восточной части округа на станции Оренбург, находящейся в жарком климатическом поясе.

Большим разнообразием в распределении дней с температурой 30 °С и более наблюдается в Южном округе, в котором можно выделить несколько климатических районов, где количество

жарких дней на станциях в этих районах различается несущественно. К таким районам следует отнести северо-западную часть округа – станции Волгоград, Ростов-на-Дону, Краснодар, юго-восточную часть – Астрахань, Элиста (самое жаркое место в округе), предгорную зону северного Кавказа – Нальчик, Махачкала и побережье Черного моря – Геленджик, Сочи. На последних станциях за рассматриваемый 36-летний период отмечается небольшая повторяемость с минимальным числом жарких дней из-за влияния морского климата. Наиболее жаркими месяцами в округе по повторяемости являются июль и август.

По Южному округу была подсчитана повторяемость жарких дней с температурой 35 °С и выше – табл.2, из которой следует, что наибольшая повторяемость с такой температурой наблюдается на станциях, расположенных в северной части округа, где их было до 371 случая за рассматриваемый период. Число случаев в предгорной зоне Северного Кавказа и на побережье Черного моря жарких дней с такой температурой было очень мало, и наименьшее их количество (7) наблюдалось на станции Сочи.

Т а б л и ц а 2

Характеристика жаркой погоды ($T_{mx} > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Станция	Повторяемость (%) жарких дней				Общее число случаев	Повторяемость (%) периодов различной продолжительности жарких дней с V по VIII				
	V	VI	VII	VIII		1	2-3	4-5	6>	Число случаев V–VIII
Волгоград	0,0	5,6	15,1	6,5	150	53,5	29,6	11,3	5,6	71
Ростов	0,0	3,3	12,5	7,9	132	48,4	35,5	11,3	4,8	62
Астрахань	0,4	9,4	29,7	15,1	303	54,5	30,3	9,0	6,2	145
Элиста	0,0	11,1	33,9	21,9	371	40,1	36,5	13,9	9,5	137
Краснодар	0,0	0,0	15,6	9,5	140	28,3	47,8	13,0	10,9	46
Сочи	0,0	0,2	0,7	0,4	7	60,0	40,0	0,0	0,0	5
Махачкала	0,0	0,4	1,6	2,5	25	85,7	14,3	0,0	0,0	21
Нальчик	0,0	0,0	1,3	1,1	13	42,9	42,9	14,3	0,0	7
Геленджик	0,0	0,0	3,6	2,5	34	38,9	50,0	11,1	0,0	18
Среднее по станциям округа	0,0	3,3	12,7	7,5	131	50,3	36,3	9,3	4,1	57

Второй характеристикой жаркой погоды является повторяемость периодов различной продолжительности (в днях), приведенная в табл.1 и для наглядности на рис.1. Из таблицы следует, что на станциях Северо-Западного округа преобладают однодневные выбросы с жаркой погодой, их повторяемость по округу в среднем составляет более 50 % случаев. В одной трети случаев наблюдаются периоды в 2–3 дня и около 9 % приходится на периоды от 4 дней и более. Наибольшая повторяемость продолжительных периодов от 4–5 и более дней наблюдается на станциях северо-восточной части округа (ст. Печора, Сыктывкар). В Центральном округе повторяемость с периодами 2–3 дня фактически сопоставима с однодневными выбросами, а на станциях Елатьма, Тамбов даже больше повторяемости однодневных пиков. В юго-восточной части округа на станциях возросло число случаев (до 25 %) продолжительных периодов от 4–5 и более дней. В Приволжском округе по сравнению с Центральным увеличилась почти в 2 раза повторяемость продолжительных периодов 6 и более дней. На станциях Казань, Саратов, Оренбург повторяемость таких периодов возросла до 30 % от общего числа случаев.

В Южном округе на станциях северной части – Волгоград, Астрахань, Элиста, Ростов, Краснодар резко возросла повторяемость длительных периодов от 4 дней и более, их повторяемость фактически в сумме стала больше однодневных пиков и периодов в 2–3 дня. На других станциях этого региона почти с равной повторяемостью преобладали случаи однодневных и 2–3-дневных периодов.

Распределение периодов, приведенное на рис.1 также показывает, что наибольшее их число в округах приходится на однодневные пики. Однако по мере роста среднемесячных температур к середине теплого периода естественно увеличивается в округах число более продолжительных периодов и наибольшее их число наблюдается в Приволжском и Южном округах.

По выборочным станциям от каждого округа в табл.3 приводятся погодичные данные числа жарких дней по месяцам теплого периода.

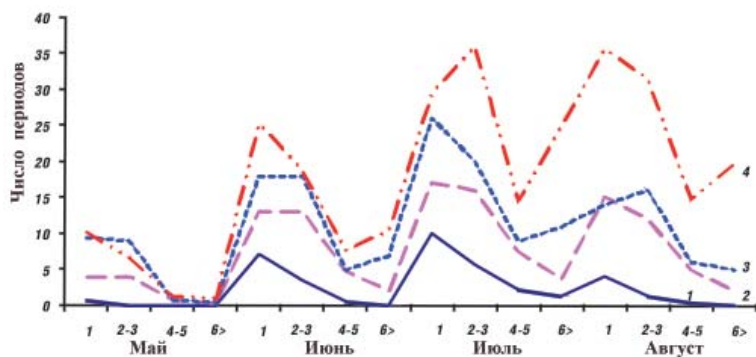


Рис. 1. Число периодов различной продолжительности (дни) жаркой погоды по округам: 1 – Северо-Западный, 2 – Центральный, 3 – Приволжский, 4 – Южный

Таблица 3
Число дней по годам с жаркой погодой ($T_{\max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)

Год	АРХАН-ГЕЛЬСК				МОСКВА				САМАРА				РОСТОВ-НА-ДОНУ			
	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII
1971							1			4	8	5		5	18	17
1972			11	1		2	9	13	1	8	16	22	5	20	24	23
1973										2	2		1	1	9	4
1974		1	1						1		2	1			10	7
1975				1						11	11	6	6	24	20	15
1976														7	4	3
1977			2					4		4	2	11			9	10
1978		1										1		3	5	2
1979					3				1	2	1	7	3	11	7	18
1980										3	3			6	15	7
1981		2				7	9	2		11	19	11	1	18	20	18
1982			2							3	9	6		2	2	4
1983											4	2	3	2	18	3
1984		1					1		9	5	13		3	7	13	3
1985								3		3		4	4		4	23

Окончание табл. 3

1986						1	2			3	3	3	2	11	13	23
1987										14	2			7	16	3
1988			3			3	6			9	18	4		6	13	8
1989		1	1			1	1			10	8			8	9	11
1990			3				2				2				13	2
1991						6				8	6			15	20	8
1992							2	2		1	1	3		6	2	15
1993											1			2	8	10
1994										1			1	3	6	11
1995					4	1	1		2	15	6	5		16	11	3
1996						1	4		6	5	8	5	1	5	17	7
1997										10	2	2		5	3	7
1998		1				8			2	16	12	7		3	17	13
1999		5	1			7	9			1	12	4		10	21	17
2000	1	3	6		1					2	13	4		8	16	11
2001			2				10			1	11	5			26	13
2002			2				12	2			17	3		3	28	6
2003			4	3			1		1		2	4	3		5	4
2004		1	2						1	8	7	5			6	6
2005					2				6	2	9	6	8	5	5	12
2006		3	2			3	5			7	8	6	2	12	10	25
1971– 2006	1	19	42	5	10	40	5	26	30	169	238	142	43	241	443	372

Из таблицы следует, что какой-либо последовательности в распределении жарких дней по годам нет. Однако можно отметить, что в первом 18-летнем периоде (1971–1988 гг.) на приведенных станциях после лет с повышенным числом жарких дней, а их было 7, наблюдались годы от 1 до 3 лет с малым количеством жарких дней. Во втором 18-лети (1989 – 2006 гг.) с 1995 г. до конца рассматриваемого периода, кроме трех лет, наблюдались годы с большим количеством жарких дней, чем в первом периоде. Как в первом, так и во втором периоде наибольшее число жарких дней наблюдается в юго-восточных районах Европейской части России. Распределение по годам жарких дней на других станциях в округах было фактически аналогичным. Самым рекордным годом с максимальным числом жарких дней в 36-летнем периоде в округах был 1972-й. Этот год характеризовался жесткой засухой почти на всей территории Европейской части России. Следует заметить, что не всегда большое количество жарких дней в месяцах теплого

периода приводит к засухе, ибо для ее формирования необходимы ряд дополнительных условий, а именно: длительный бездождевой период с жаркими днями и соответствующие циркуляционные процессы[7].

Из анализа тренда годовых значений числа дней с жаркой погодой в округах, приведенного на рис.2, можно выделить два периода: первый период связан с уменьшением числа жарких дней с 1972 по 1989 г., второй период с 1989 по 2006 г. с заметным их ростом, кроме Приволжского округа, где тренд был сравнительно небольшим.

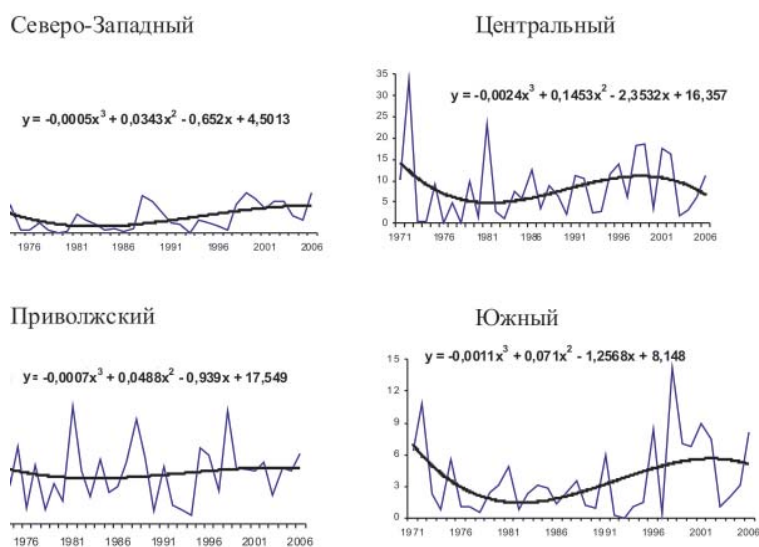


Рис.2. Кубический тренд годовых значений среднего числа жарких дней по округам

Рост числа жарких дней в теплый период за последние годы происходил во всех регионах Европейской части России, однако из-за большой протяженности территории и разнообразия природных условий количественные изменения проявлялись неравномерно. Такой многолетний ход числа случаев с жаркими днями явно связан с глобальным потеплением климата.

В связи с увеличением частоты жарких дней на всей Европейской части территории России и Западной Европы [1] и признанием того, что этот рост является причиной многих неблагоприятных последствий, необходимо провести дополнительное исследование формирования жарких периодов в зависимости от физических и циркуляционных процессов в атмосфере. Целесообразно также разработать систему мер по климатическому прогнозированию экстремальных периодов с целью заблаговременного предупреждения их последствий.

Литература

1. Бю л л е т е н ь ВМО. – 2005 (январь). – Т. 54 (1). – С. 3–11.
2. Б о р и с о в а Е. А. . Календарные особенности волн холода и тепла в январе // Труды ЦИП. – 1967. – Вып. 150. – С. 6–16.
3. Б о ч к о в а Т. Н. . Волны холода и тепла в январе и декабре на пастбищах Северо-Западного Прикаспия // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1977. – Вып. 36. – С. 13–21.
4. Б а й д а л М. Х. , С е р е б р я к о в а А. А. . Климатические особенности волн холода и тепла в Казахстане в холодное время года // Труды КазНИГМИ. – 1955. – Вып. 5. – С. 37–43.
5. К л и м а т Калуги. /Под ред. И.А. Швер, А.И. Неушкина. – Л.: Гидрометеопиздат, 1989. – С. 100–103.
6. Ц у б е р б и л л е р Е. А. . Температурный режим и влажность воздуха // Труды ЦИП. – 1949. – Вып. 13(40). – С.27–39.
7. Н е у ш к и н А. И. , С а н и н а А. Т. , И в а н о в а Т. Б. . Опасные природные гидрометеорологические явления в федеральных округах Европейской части России // Справочная монография. – Обнинск, 2008. – С. 311.

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЛОКИРОВАНИЯ В СРЕДНЕЙ ТРОПОСФЕРЕ: СОПОСТАВЛЕНИЕ ОЦЕНОК ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗОВ NCEP/NCAR И JRA

Численное моделирование является основным средством, позволяющим получать оценки возможных изменений климата. О качестве моделей судят по успешности воспроизведения ими современного климата. В этих целях привлекаются результаты наблюдений, причем наиболее широко используются данные реанализов, поскольку они доступны, не имеют пропусков, имеют высокое пространственное разрешение. Первый массив данных реанализов был получен усилиями двух организаций: Национального центра предсказания окружающей среды и Национального центра исследований США – *NCEP/NCAR* [5]. В течение последних двух десятилетий появились многочисленные публикации, посвященные сравнению результатов этого реанализа и данных оперативных наблюдений. В настоящее время имеются уже несколько массивов данных реанализа и проводятся исследования по их сопоставлению, например [6]. Цель настоящей работы – сравнить оценки статистического режима процессов блокирования в средней тропосфере, полученные по массивам реанализов *NCEP/NCAR* и *JRA* (Япония).

Для выделения эпизодов блокирования и расчета их характеристик используются данные геопотенциала H_{500} [2]. Поэтому вначале было проведено сопоставление исходных полей геопотенциала H_{500} из массивов *NCEP/NCAR* и *JRA*. Эти массивы имеют одинаковое пространственное разрешение – сетку $2,5 \times 2,5^\circ$ ($73 \times 144 = 10\,512$ узлов), что существенно облегчает проведение расчетов и анализ результатов.

Геопотенциал H_{500}

Многолетние статистики. По двум массивам полей геопотенциала H_{500} за период 1979–2006 гг. для каждого месяца рассчитаны многолетние статистики: средние значения E («нормы») и среднеквадратические отклонения σ («сигмы»), – и выполнено их пространственное (с учетом косинуса широты) осреднение

(арифметическое для E и среднеекватратическое для σ). Оценки получены отдельно по полушариям и для земного шара в целом. На рис.1 показан годовой ход статистик для двух массивов реанализов при их глобальном осреднении. Видно, что они практически совпадают (различия в σ не превышают 0,1 дам).

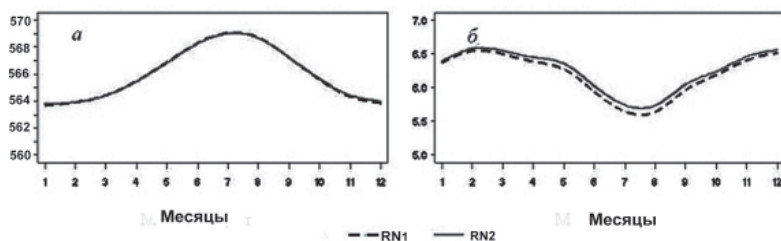


Рис. 1. Годовой ход глобально-осредненных многолетних статистик геопотенциала H_{500} (дам) по данным реанализов NCEP/NCAR (RN1) и JRA (RN2), 1979–2006 гг.: а – среднемноголетнее значение, б – среднеекватратическое отклонение

На рис. 2 (широты Южного полушария обозначены здесь отрицательными значениями) представлено среднегодовое распределение зонально-осредненных значений геопотенциала H_{500} и его среднеекватратического отклонения. Различия в средних значениях заметны в приполюсных районах Южного полушария (по данным JRA значения геопотенциала H_{500} несколько больше, чем по данным NCEP/NCAR), а в среднеекватратических отклонениях – также и в умеренных широтах.

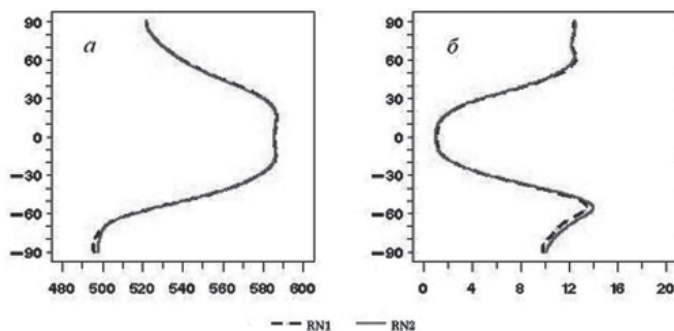


Рис. 2. Среднегодовой широтный ход зонально-осредненных многолетних статистик геопотенциала H_{500} (дам) по данным реанализов NCEP/NCAR (RN1) и JRA (RN2), 1976 – 2006 гг.: а – среднемноголетнее значение, б – среднеекватратическое отклонение

По данным месячных многолетних статистик рассчитаны поля разностей «норм» $DE = E(JRA) - E(NCEP/NCAR)$ и отношений «сигм» $R\sigma = \sigma(JRA)/\sigma(NCEP/NCAR)$. Для полей DE и $R\sigma$ получены оценки пространственных статистических характеристик отдельно для Северного и Южного полушарий (табл. 1).

Согласно этим оценкам, в Северном полушарии разности средних многолетних значений во все месяцы отрицательные (до -0,3 дам), а в Южном полушарии – положительные (до 0,5 дам). Отношение средних по площади «сигм» для Северного полушария во все месяцы меньше 1,0 (0,97– 0,99), а для Южного полушария больше 1,0 (до 1,02 в мае и июле). Таким образом, в статистиках реанализов геопотенциала H_{500} для полушарий обнаруживаются противоположные тенденции: в Северном полушарии «нормы» и «сигмы» по данным JRA меньше, чем по данным $NCEP/NCAR$, в Южном – наоборот. Из таблицы видно, что различия месячных «норм» для Южного полушария больше, чем для Северного. В Северном полушарии среднеквадратическое различие q в среднем за год составляет 0,40 дам (в отдельные месяцы от 0,35 до 0,45 дам), а значения локальных разностей не превышают 2,3 дам. В Южном полушарии величина q составляет в среднем 0,73 дам (в отдельные месяцы от 0,59 до 0,96 дам), а значения локальных разностей достигают 5,8 дам. Для сравнения отметим, что экстремумы локальных различий месячных «норм», рассчитанных по данным реанализов $NCEP/NCAR$ и совместной модели ИВМ РАН в эксперименте, воспроизводящем климат XX века, составляют в Северном полушарии от -23 до +22 дам, в Южном полушарии от -14 до +30 дам [4].

Анализ пространственного распределения экстремумов разностей «норм», полученных по данным реанализов $NCEP/NCAR$ и JRA , показывает, что экстремальные различия с положительным знаком $\{H(JRA) > H(NCEP/NCAR)\}$ во все месяцы отмечаются в высоких широтах Южного полушария (примерно на 80° ю. ш.), с отрицательным, когда $H(JRA) < H(NCEP/NCAR)$, – в тропиках обоих полушарий.

Срочные поля. Рассчитаны разности между срочными полями геопотенциала H_{500} из двух массивов реанализов за весь период 1979 – 2006 гг., и по каждому полю разностей получены оценки пространственных статистик для Северного и Южного полушарий.

Т а б л и ц а 1

Пространственные статистики полей локальных разностей DE многолетних «норм» и локальных отношений $R\sigma$ многолетних «сигм» геопотенциала H_{500} , рассчитанных по срочным (срок 0 СГВ) данным реанализов $NCEP/NCAR$ ($RN1$) и JRA ($RN2$), 1979 – 2006 гг.:
 $mean$ – среднее, q – среднеквадратическое значение, min – минимум, max – максимум

а) Северное полушарие

Месяц	$DE=E(RN2)-E(RN1)$, дам				$R\sigma=\sigma(RN2)/\sigma(RN1)$		
	$mean$	q	min	max	q	min	max
1	-0,30	0,45	-1,5	0,8	0,99	0,89	1,14
2	-0,29	0,42	-1,4	0,8	0,98	0,89	1,11
3	-0,22	0,35	-1,4	1,1	0,99	0,90	1,09
4	-0,15	0,36	-1,3	2,1	0,98	0,86	1,11
5	-0,11	0,38	-1,6	2,3	0,99	0,87	1,18
6	-0,11	0,39	-1,7	1,7	0,98	0,86	1,10
7	-0,13	0,39	-1,7	1,2	0,97	0,85	1,14
8	-0,19	0,40	-1,4	1,0	0,97	0,79	1,15
9	-0,16	0,39	-1,2	1,1	0,97	0,84	1,09
10	-0,15	0,40	-1,3	0,9	0,97	0,82	1,06
11	-0,21	0,43	-1,4	0,8	0,98	0,84	1,09
12	-0,26	0,43	-1,3	0,7	0,99	0,85	1,14

б) Южное полушарие

Месяц	$DE=E(RN2)-E(RN1)$, дам				$R\sigma=\sigma(RN2)/\sigma(RN1)$		
	$mean$	q	min	max	q	min	max
1	0,47	0,96	-1,5	5,2	1,01	0,89	1,18
2	0,28	0,75	-1,6	4,8	1,01	0,87	1,21
3	0,16	0,64	-1,6	4,5	1,01	0,87	1,19
4	0,08	0,62	-1,4	4,7	1,01	0,85	1,18
5	0,02	0,59	-1,5	4,5	1,02	0,89	1,16
6	0,02	0,65	-1,7	5,0	1,01	0,88	1,13
7	0,06	0,63	-1,9	5,0	1,02	0,85	1,14
8	0,12	0,69	-2,1	5,4	1,01	0,81	1,19
9	0,21	0,77	-1,7	5,8	1,01	0,84	1,16
10	0,32	0,74	-1,4	4,6	1,00	0,82	1,15
11	0,42	0,81	-1,0	4,6	1,00	0,85	1,17
12	0,52	0,96	-1,0	5,2	1,01	0,87	1,27

Затем выполнено многолетнее обобщение пространственных статистик по месяцам. Аналогичные расчеты проведены по среднемесячным полям геопотенциала H_{500} . Многолетние оценки пространственных статистик полей разностей суточных (срочных) и среднемесячных полей реанализов приведены в табл. 2. Диапазон экстремальных значений локальных разностей для месячных полей составляет в Северном полушарии от -5 до +6 дам, в Южном – от -11 до +13 дам. Экстремумы локальных различий срочных полей существенно больше: в Северном полушарии -14 и + 21 дам, в Южном -37 и +39 дам.

Кроме того, рассматривались ряды месячных и годовых оценок средних (ed) и среднеквадратических (qd) различий между срочными данными геопотенциала H_{500} из двух реанализов, осредненные как в целом по земному шару и полушариям, так и по различным широтным поясам. Осредненные по месяцам оценки среднеквадратических различий для Северного и Южного полушарий

Т а б л и ц а 2

Многолетние оценки (1979–2006 гг.) пространственных статистик полей разностей d между значениями геопотенциала H_{500} из реанализов *NCEP/NCAR (RN1)* и *JRA (RN2)*:
 $d = RN2 - RN1$ (дам):

q – среднеквадратическое значение, min – минимум, max – максимум

а) Срочные поля, срок 0 СГВ

Месяц	Северное полушарие			Южное полушарие		
	q	min	max	q	min	max
1	0,91	-11,5	17,0	1,76	-20,5	26,1
2	0,98	-10,6	15,7	1,71	-19,7	27,1
3	0,85	-12,8	13,2	1,70	-32,9	24,4
4	0,84	-11,7	21,5	1,80	-28,3	31,3
5	0,85	-10,1	12,3	1,95	-23,3	39,5
6	0,83	-10,4	11,9	2,05	-36,4	24,1
7	0,81	-9,6	10,3	2,11	-37,2	28,8
8	0,80	-14,7	7,7	2,09	-26,5	32,0
9	0,82	-10,5	8,0	2,08	-36,9	29,8
10	0,84	-13,2	9,7	1,89	-24,9	23,9
11	0,87	-10,4	9,5	1,86	-24,2	31,1
12	0,90	-13,5	9,9	1,79	-23,2	20,4

б) Среднемесячные поля, срок 0 СГВ						
Месяц	Северное полушарие			Южное полушарие		
	q	min	max	q	min	max
1	0,59	-4,9	5,5	1,20	-4,1	10,1
2	0,57	-4,4	3,5	1,04	-5,3	10,4
3	0,51	-3,6	4,2	0,98	-5,7	9,9
4	0,52	-3,4	6,2	1,02	-8,2	12,0
5	0,55	-3,3	6,8	1,13	-8,1	13,1
6	0,54	-3,2	6,4	1,21	-9,6	12,0
7	0,54	-3,3	3,9	1,26	-11,3	10,5
8	0,53	-3,2	3,6	1,24	-10,3	10,3
9	0,52	-3,5	3,8	1,26	-10,0	12,7
10	0,54	-4,2	2,1	1,12	-7,2	11,8
11	0,56	-4,2	2,6	1,21	-11,7	10,0
12	0,57	-5,2	2,8	1,23	-5,1	10,4

приведены на рис. 3. На рис. 4 показан многолетний ход среднегодовых средних и среднеквадратических различий между срочными полями геопотенциала H_{500} для различных зон земного шара. Аналогичный рисунок построен для 10-градусных широтных зон, в которых производился расчет индексов блокирования, и потому представляющих для нас особый интерес (рис.5). Заметим, что оценки ed и qd на приведенных рисунках не всегда ведут себя однозначно.

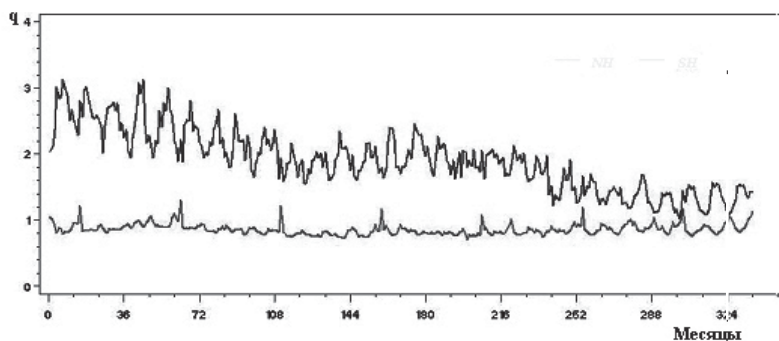


Рис. 3. Многолетний ход осредненных за месяц среднеквадратических различий (q) срочных (0 СГВ) полей геопотенциала H_{500} (дам) из массивов реанализов NCEP/NCAR и JRA для Северного (вверху) и Южного (внизу) полушарий; 1979–2006 гг. (ось X – месяцы: $28 \cdot 12=336$)

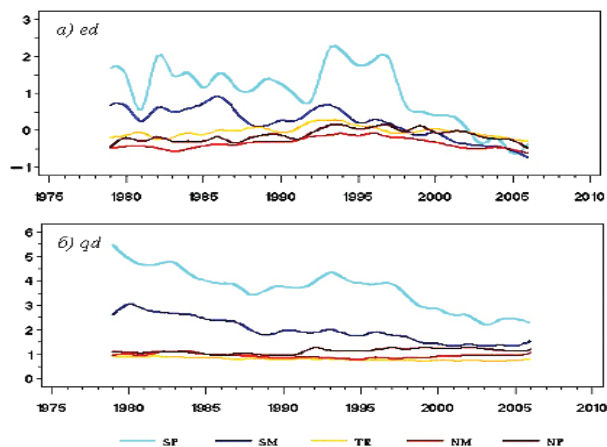


Рис. 4. Многолетний ход осредненных за год средних (а) и среднеквадратических (б) различий (дам) срочных (0 СГВ) полей геопотенциала H_{500} из массивов реанализов NCEP/NCAR и JRA для различных зон земного шара: 90–60° ю. ш. (SP), 60–30° ю. ш. (SM), 30° ю. ш.–30° с. ш. (TR), 30–60° с. ш. (NM), 60–90° с. ш. (NP)

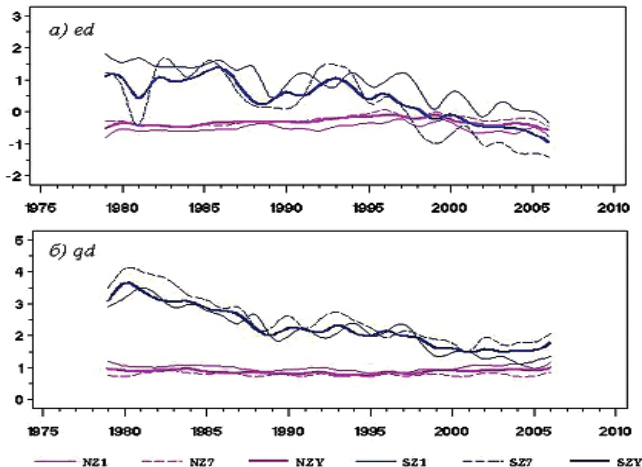


Рис. 5. Многолетние ряды среднемесячных (1 – январь, 7 – июль) и среднегодовых (Y) средних (а) и среднеквадратических (б) среднезональных различий (дам) между полями геопотенциала H_{500} из реанализов NCEP/NCAR и JRA для широтных поясов 55–65° с. ш. (NZ) и 45–55° ю. ш. (SZ)

Статистические параметры временных рядов среднегодовых различий ed и qd для разных зон за 1979–2006 гг. представлены в табл. 3. Согласно полученным оценкам, для Северного полушария различия в реанализах невелики – средняя за рассматриваемый период величина qd составляет менее 1 дам, для Южного полушария она в 2 раза больше. Однако из рис. 4 видно, что анализ данных для Южного полушария в течение рассматриваемого периода улучшался и сходство между полями возрастало. Наименьшие различия между реанализами наблюдаются в тропической зоне, а также в умеренных широтах Северного полушария, наибольшие – в высоких широтах Южного полушария. Но если в Южном полушарии в течение рассматриваемого периода среднеквадратическое различие между полями в высоких широтах уменьшилось от 4,3 до 2,3 дам, то в высоких широтах Северного полушария оно в целом несколько увеличилось (до конца 90-х годов прошлого столетия отмечался рост оценок ed и qd , а затем началось их уменьшение).

Т а б л и ц а 3

Оценки статистических параметров рядов среднегодовых зональных средних (ed) и среднеквадратических (qd) различий между полями геопотенциала H_{500} из реанализов $NCEP/NCAR(RN1)$ и $JRA(RN2)$: $d=RN2-RN1$ (дам), 1979–2006 гг.: $mean$ – многолетнее среднее (дам), b – угловой коэффициент линейного тренда (дам/10 лет), D – вклад линейного тренда в общую дисперсию ряда (%)

Широтный пояс	Среднее различие ed			Среднеквадратическое различие qd		
	$mean$	b	D	$mean$	b	D
90° ю.ш.–90° с.ш.	0,01	-0,12	24,3	1,50	-0,32	90,1
0 –90° с.ш.	-0,19	0,02	1,6	0,86	-0,00	0,5
90° ю.ш.– 0°	0,22	-0,26	51,9	1,90	-0,49	91,2
90 –60° ю.ш.	1,02	-0,63	41,9	3,67	-0,95	82,2
60 –30° ю.ш.	0,20	-0,45	72,5	1,98	-0,59	89,9
30° ю.ш.–30° с.ш.	-0,04	0,00	0,0	0,79	-0,06	78,2
30 –60° с.ш.	-0,36	0,02	0,9	0,93	-0,04	12,6
60 –90° с.ш.	-0,15	0,07	11,2	1,12	0,08	41,3
55 –65° с.ш.	-0,32	0,03	4,8	0,87	0,00	0,2
45 –55° ю.ш.	0,40	-0,68	75,4	2,27	-0,73	88,1

Как видно из приведенных оценок, сходство реанализов полей геопотенциала H_{500} в зоне $55 - 65^\circ$ с. ш. лучше, чем в зоне $45 - 55^\circ$ ю. ш., поэтому соответствующих соотношений можно ожидать и в сходстве характеристик блокирования.

Индексы блокирования

В настоящем исследовании, согласно методологии [2], эпизоды блокирования определяются в узлах географической сетки как крупные положительные отклонения геопотенциала H_{500} от его среднеширотных значений (V_{LH}), которые сохраняются 7 дней и более (допускается двухдневный перерыв). Пороговое значение для идентификации эпизодов блокирования C_0 по сравнению с предыдущими расчетами [3] было увеличено до $1,3 \sigma$ (σ – стандартное отклонение V_{LH}), в результате чего из рассмотрения были исключены наиболее слабые антициклоны и гребни. Это несколько сказывается на оценках характеристик блокирования, но не влияет на сезонные особенности их пространственного распределения.

Для сравнения характеристик процессов блокирования оба массива реанализов геопотенциала H_{500} (срок 0 СГВ) подвергались обработке по единой методике, включающей выделение эпизодов устойчивой антициклональной циркуляции, приводящей к образованию блоков, формирование временных рядов индивидуальных и интегральных характеристик эпизодов блокирования, расчет их многолетних статистик. Как и ранее в работе [3], для каждого узла сетки по индивидуальным характеристикам выделенных блоков рассчитывались интегральные характеристики – сезонные индексы блокирования: число эпизодов блокирования Nbl за сезон и их суммарная продолжительность TD . Статистический анализ полей таких индексов позволяет рассматривать сезонные особенности пространственного распределения процессов блокирования и сравнивать их с существующими представлениями о климатологии блокирования [1].

Характеристики эпизодов блокирования, а также их многолетние статистики за период 1980–2006 гг. получены по данным геопотенциала H_{500} из реанализов *NCEP/NCAR* и *JRA* для каждого из 720 (144×5) узлов 10 -градусных зональных поясов $55 - 65^\circ$ с. ш. и $45 - 55^\circ$ ю. ш. Расчеты осуществлялись для четырех календарных сезонов.

Оценки средней многолетней среднезональной суммарной продолжительности эпизодов блокирования TD , полученные по

двум массивам реанализов, для каждого из четырех календарных сезонов представлены на рис. 6 (широтный пояс $55-65^\circ$ с. ш.)

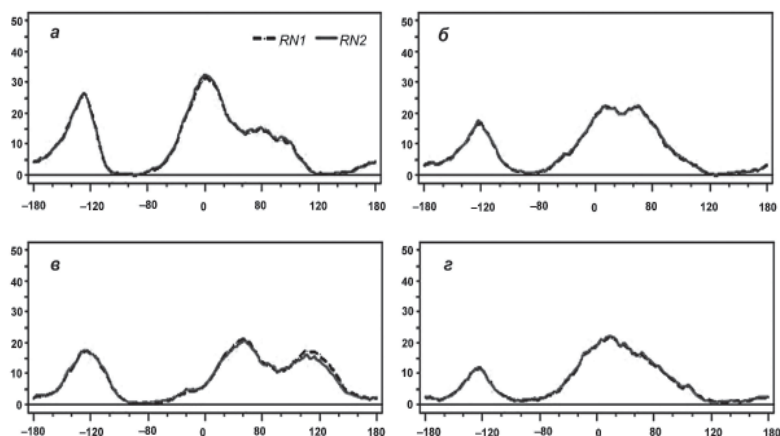


Рис. 6. Средняя многолетняя суммарная за сезон продолжительность эпизодов блокирования (дни), рассчитанная для широтного пояса $55-65^\circ$ с. ш. по данным реанализов NCEP/NCAR (RN1) и JRA (RN2): а – зима, б – весна, в – лето, г – осень; 1980 – 2006 гг.

и на рис. 7 (широтный пояс $45-55^\circ$ ю. ш.). В обоих полушариях долготное распределение среднезональной средней многолетней продолжительности блокирования, рассчитанное по данным двух рассматриваемых реанализов, хорошо совпадает.

В Северном полушарии, где выделяются два сектора активного блокирования: европейский и северо-американский, – наибольшие различия составляют немногим больше двух дней. Они приходятся на летний сезон, когда в Восточной Сибири появляется дополнительный максимум блокирования и по данным JRA среднесезонные значения TD в нем несколько меньше, чем по данным NCEP/NCAR.

В Южном полушарии различия в продолжительности эпизодов блокирования отмечаются в районах наиболее активного блокирования – как основного (новозеландского) максимума на западе Тихого океана, так и вторичного в районе Южной Америки, где по данным JRA значения TD меньше, чем по данным NCEP/NCAR. Обратное соотношение, когда значения TD по данным JRA больше, чем по данным NCEP/NCAR, обнаруживается в восточных районах Тихого океана, но только в летне-осенний период.

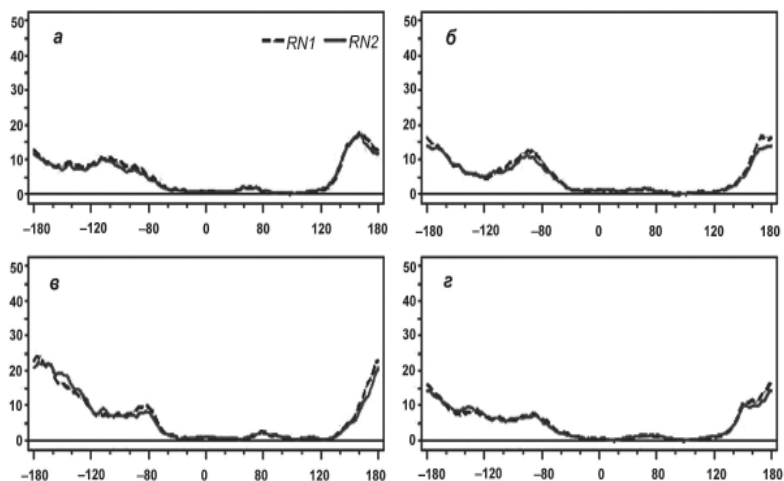


Рис. 7. Средняя многолетняя суммарная за сезон продолжительность эпизодов блокирования (дни), рассчитанная для широтного пояса 45–55° ю. ш. по данным реанализов NCEP/NCAR (RN1) и JRA (RN2): а – зима, б – весна, в – лето, г – осень; 1980 – 2006 гг.

Если выше речь шла о среднемноголетнем долготном распределении среднезональных оценок, то в табл. 4 приведены статистики локальных различий в продолжительности блокирования, которые рассчитаны с учетом всех точек рассматриваемых 10-градусных широтных поясов. Они получены как для разностей среднемноголетних значений TD («норм»), так и для разностей TD конкретных лет 27-летнего периода 1980–2006 гг. Из таблицы видно, что в Южном полушарии активность блокирования (значения суммарной продолжительности TD) по данным JRA во все сезоны в среднем несколько ниже, чем по данным NCEP/NCAR. Экстремальные различия в средней многолетней суммарной за сезон продолжительности блокирования отмечаются в Южном полушарии. Они приходятся на летний сезон и составляют -6,3 и +5,1 дней. В отдельные годы различия в продолжительности эпизодов блокирования могут достигать существенно больших значений: в Северном полушарии от -30 до +30 дней, в Южном – от -41 до +41 дня.

Т а б л и ц а 4

Пространственные статистики точечных различий между суммарной продолжительностью блокирования, рассчитанной по данным геопотенциала H_{500} (срок 0 СГВ) из массивов реанализов *NCEP/NCAR* (RNI) и *JRA* ($RN2$), для многолетнего режима (de) и временных рядов (d), 1980 – 2006 гг.:

$mean$ – среднее значение, q – среднеквадратическое значение, min – минимум, max – максимум

Сезон	$de=eTD(RN2)-eTD(RNI)$, дни				$d=TD(RN2)-TD(RNI)$, дни		
	$mean$	q	min	max	q	min	max
Северное полушарие (55–65°)							
Зима	0,1	0,6	-2,2	2,8	2,3	-19,9	22,4
Весна	0,0	0,5	-2,2	2,7	2,4	-29,3	30,2
Лето	-0,2	0,9	-4,2	2,4	3,0	-30,5	27,1
Осень	0,1	0,5	-1,5	2,2	2,1	-25,5	20,8
Южное полушарие (45–55°)							
Зима	-0,3	0,9	-4,5	2,2	3,7	-40,7	32,0
Весна	-0,4	1,1	-5,2	2,0	3,6	-36,7	29,6
Лето	-0,2	1,3	-6,3	5,1	3,8	-27,8	38,8
Осень	-0,1	0,8	-3,6	2,4	3,4	-35,2	40,9

Экстремальные локальные различия в числе эпизодов блокирования составили в отдельных узлах до 3 - 4 случаев за сезон. Такие различия отмечаются, в частности, в Южном полушарии в осенний сезон (март–май) 1984 г., когда в 9 узлах на юго-востоке Тихого океана по данным *NCEP/NCAR* было выявлено не более одного блока, а по данным *JRA* – по 3 - 4. На один из узлов этого района (50° ю. ш., 235° в. д.) приходится и сезонный максимум в различии суммарной продолжительности блокирования (см. табл. 4), который составляет 41 день. Распределение суммарной продолжительности эпизодов блокирования на 50° ю. ш. для этого сезона показано на рис. 8.

Анализ среднемесячных полей геопотенциала H_{500} осеннего сезона 1984 г. показал, что наблюдавшийся над этими районами в апреле – мае гребень высокого давления был по данным *JRA* более мощным, чем по данным *NCEP/NCAR*. Различия в его интенсивности составили в апреле более 3 дам, в мае – более 7 дам (рис. 9), причем эти различия в мае для рассматриваемого широтного

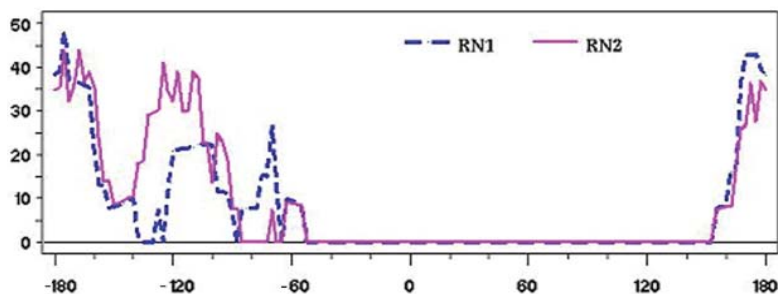


Рис. 8. Суммарная продолжительность эпизодов блокирования (дни) в осенний сезон (март–май) 1984 г. на 50° ю. ш. по данным реанализов NCEP/NCAR (RN1) и JRA (RN2)

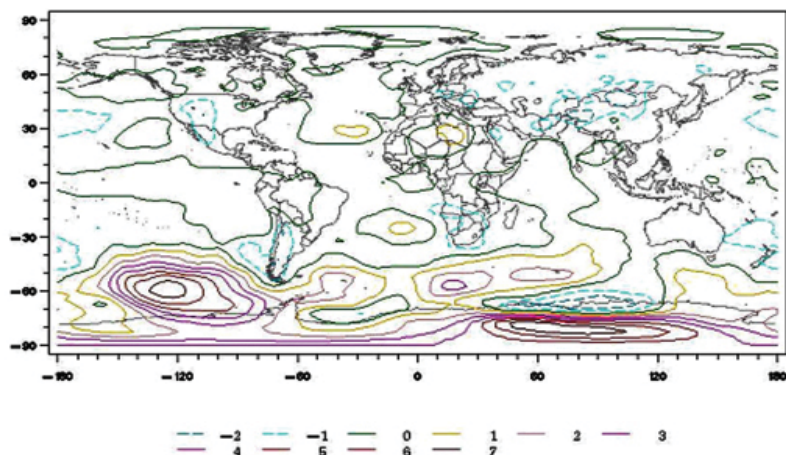


Рис. 9. Различия d между среднемесячными полями геопотенциала H_{500} , построенными по данным реанализов NCEP/NCAR (RN1) и JRA (RN2): $d = \text{RN2} - \text{RN1}$ (дам), май 1984 г.

пояса 45–55° ю. ш. являются вторым по величине положительным экстремумом (после 1980 г.). Несмотря на такие различия среднемесячных полей геопотенциала H_{500} , характер изменений VLH в течение осеннего сезона 1984 г. по данным обоих реанализов в этом регионе был идентичен: коэффициент корреляции между кривыми, приведенными на рис. 10, составляет 0,99. Однако по

данным *NCEP/NCAR* периоды со значениями VLH , превышающими критическую для идентификации эпизода блокирования величину $C_0 = 1,3 \sigma$, оказались по продолжительности менее 7 дней (второго заданного критерия для выделения блока, связанного с устойчивостью антициклонической циркуляции) и в качестве блока не были диагностированы.

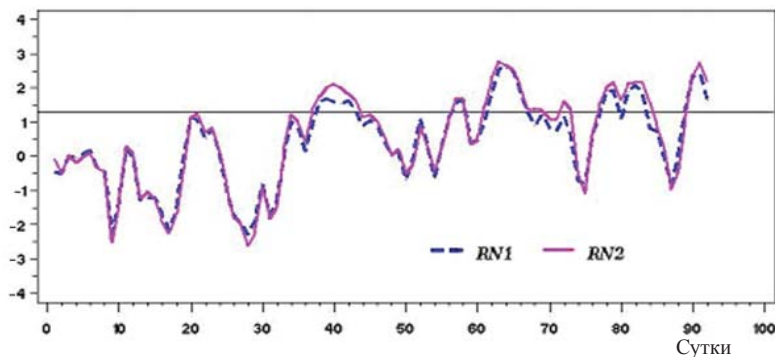


Рис. 10. Суточные нормированные отклонения геопотенциала H_{500} от среднеширотных значений (VLH/σ) для осеннего сезона (март–май) 1984 г. (50° ю. ш., 235° в. д.) по данным *NCEP/NCAR* (RN1) и *JRA* (RN2)

Данный случай является иллюстрацией пограничных ситуаций, которые неизбежно возникают при автоматизированных методах анализа. С другой стороны, он свидетельствует о чувствительности рассмотренных индексов блокирования даже к не очень большим различиям во временном ходе геопотенциала H_{500} . В связи с этим можно сделать вывод о целесообразности использования характеристик блокирования при сопоставлении полей реанализов как между собой, так и с результатами моделирования в средней тропосфере.

Выводы

Результаты проведенного сопоставления полей геопотенциала H_{500} из массивов реанализов *NCEP/NCAR* и *JRA*, а также рассчитанных по ним индексов блокирования позволяют считать достаточно надежными выводы о закономерностях процессов,

получаемые на основе пространственно-временного осреднения их характеристик. Анализ локальных (в пространстве и во времени) особенностей процессов в средней тропосфере с использованием данных реанализов требует определенной осторожности из-за присутствия больших по величине различий между исходными полями рассматриваемых массивов. При этом следует иметь в виду, что даже не очень большие различия в полях геопотенциала H_{500} могут приводить к существенным различиям в локальных характеристиках процессов блокирования.

Данная работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект 08-05-00629а.

Литература

1. Груза Г.В., Коровкина Л.В. Сезонные особенности пространственного распределения индексов блокирования в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 3. – С. 108–110.
2. Груза Г.В., Коровкина Л.В. Климатический мониторинг процессов блокирования западного переноса в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 8. – С. 1–17.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Л.Н. Статистический анализ сезонных индексов блокирования в Северном полушарии // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2003. – Вып. 171. – С. 127–150.
4. Клещенко Л.К., Ранькова Э.Я. Оценки воспроизведения моделью ИВМ РАН характеристик циркуляции в средней тропосфере // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2007. – Вып. 173. – С. 113–127.
5. Kalnay E. et al. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1996. – Vol. 77. – P. 437–484.
6. Wang X.L., Swail V.R., Zwiers F.W. Climatology and Changes of Extratropical Cyclone Activity: Comparison of ERA-40 with NCEP-NCAR Reanalysis for 1958–2001 // J. of Climate. – 2006. – Vol. 19. – P. 3145–3166.

И.В. Черных, О.А. Алдухов, В.А. Оржиховская

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ АТМОСФЕРЫ НАД ПОЛЯРНЫМИ РЕГИОНАМИ РОССИИ ЗА 2007–2008 ГОДЫ

Введение

Мониторинг текущих изменений климата, в частности климата атмосферы, в полярных регионах особенно актуален, т. к. изменчивость температуры в этих регионах наиболее высока [2–4, 6, 7, 9, 10].

Ниже приведен анализ аномалий для температуры за 2007–2008 гг. для стандартных изобарических поверхностей в нижней (850 гПа) и средней (500 гПа) тропосфере и нижней стратосфере (100 гПа). Расчеты выполнены на основе проконтролированного аэрологического массива АЭРОСТАБ [1] за период наблюдений 1978–2008 гг. Исследования проведены на примере действующих российских полярных станций с наиболее полными рядами наблюдений, расположенными в Антарктике и различных климатических районах Арктики: Североевропейском, Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском [5]. Для оценок аномалий температуры ниже используются постанционные данные, т. к. для Арктического и Антарктического регионов интерполяция (построение полей) имеет не очень высокую точность, поскольку разрешение наблюдательной аэрологической сети в полярных районах не позволяет с достаточной надежностью определить статистическую структуру метеопараметров на близких расстояниях, (например, расстояние между двумя российскими действующими антарктическими аэрологическими станциями Новолазаревская и Мирный превышает 3 000 км.)

Оценки аномалий температуры получены относительно периода наблюдений 1978–2008 гг. В качестве сезонов приняты: зима (декабрь–февраль), весна (март–май), лето (июнь–август) и осень (сентябрь–ноябрь). За год принимался период с декабря предыдущего года по ноябрь последующего.

Данные. В качестве исходных данных для расчетов были использованы данные стандартных радиозондовых наблюдений, содержащиеся в регулярно пополняемом текущими данными аэрологическом массиве АЭРОСТАБ, период наблюдений в

котором для российских станций составляет 1978–2008 гг. Перед включением в архив данные наблюдений прошли комплексный контроль качества [8, 11]. Для анализа были выбраны действующие российские полярные станции с наиболее полными историческими рядами наблюдений. Для Антарктики анализ проведен для двух станций: Новолазаревская и Мирный, – которые расположены в ее восточной части. Для Арктического региона выбраны станции, расположенные в его различных климатических районах: в Северо-европейском, Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском (см. рис. 1). Районирование проведено согласно классификации Прик [2, 5]. Для Северо-европейского района расчеты аномалий температуры проведены для каждой из следующих станций: Мурманск, Канда-лакша, Шойна, Нарьян-Мар. Для Западно-Сибирского района – для каждой из станций: Салехард, Остров Диксон, Норильск. И для Восточно-Сибирского района анализ проведен на основе данных станций Оленек, Тикси, Жиганск, Верхоянск.

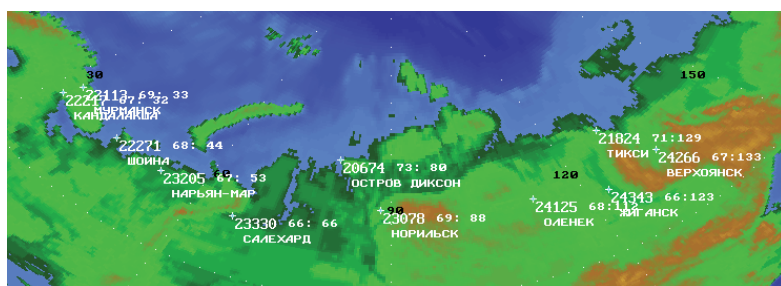


Рис. 1. Российские арктические станции, которые использованы для расчетов аномалий

Метод. Оценки аномалий температуры на изобарических поверхностях 850, 500 и 100 гПа были получены для каждой из станций относительно периода наблюдений 1978–2008 гг. Расчеты были проведены для года в целом и отдельно для каждого из сезонов и месяцев. В качестве сезонов были приняты: зима (декабрь–февраль), весна (март–май), лето (июнь–август) и осень (сентябрь–ноябрь). За год принимался период с декабря предыдущего года по ноябрь последующего. При расчетах аномалий были наложены следующие ограничения на число наблюдений: в каждый срок (00 и 12 GMT) за месяц требовалось не менее

20 наблюдений; для каждого сезона число лет наблюдений должно быть не менее 15 лет. При расчетах за год в целом «год» включает не менее 8 месяцев и число лет – не менее 15.

Арктический регион

Североевропейский район. Как было отмечено выше, в Североевропейском районе расчеты аномалий проведены для каждой из следующих станций: Мурманск, Кандалакша, Шойна, Нарьян-Мар.

Атмосфера для года в целом над Североевропейским районом была теплой. Положительные аномалии среднегодовой температуры для нижней тропосферы составили 0,6 – 1,0 °С, а для средней – 0,1 ... - 0,7 °С. В нижней стратосфере потепление составило 0,5–0,9 °С. Наибольшее потепление в тропосфере отмечено в восточной части района, над станцией Нарьян-Мар (рис. 2а), а в стратосфере – в его западной части, для станции Мурманск.

Зимой над Североевропейским районом тропосфера была теплой, в его западной части (станции Мурманск и Кандалакша) нижняя тропосфера была самой теплой за рассматриваемый период (рис. 2б). Аномалии составили 1,1 – 3,2 °С. Стратосфера была холодной, аномалии температуры составляли -2,1 ... -2,7 °С.

Тропосфера весной над Североевропейским районом была прохладной, аномалии в восточной части района достигали -1,6 °С. Весной и летом нижняя стратосфера была теплой с небольшими положительными аномалиями. Летом и осенью атмосфера была в пределах нормы.

В январе 2008 г. в Североевропейском регионе атмосфера была достаточно теплой. Аномалии средней месячной температуры в нижней тропосфере составили 3,5 – 5,3 °С, в средней — 1,6 – 3,4 °С. В Нарьян-Маре нижняя тропосфера была рекордно теплой (рис. 2в) за рассматриваемый период, отклонения средней месячной температуры от нормы составили 5,3 °С. В январе 2008 г. для нижней стратосферы значительных аномалий средней месячной температуры не отмечено.

Тропосфера в феврале была в пределах нормы, а в стратосфере было отмечено похолодание, которое было максимально в районе Кандалакши и составило -4,5 °С.

С марта по сентябрь среднемесячные значения температуры в атмосфере были в основном в пределах нормы. Стоит только

отметить, что в районе Мурманска потепление в стратосфере в марте составило $4,0^{\circ}\text{C}$. Во всем регионе в мае в нижней тропосфере были отмечены отрицательные аномалии средних месячных температур $-1,8 \dots -2,8^{\circ}\text{C}$.

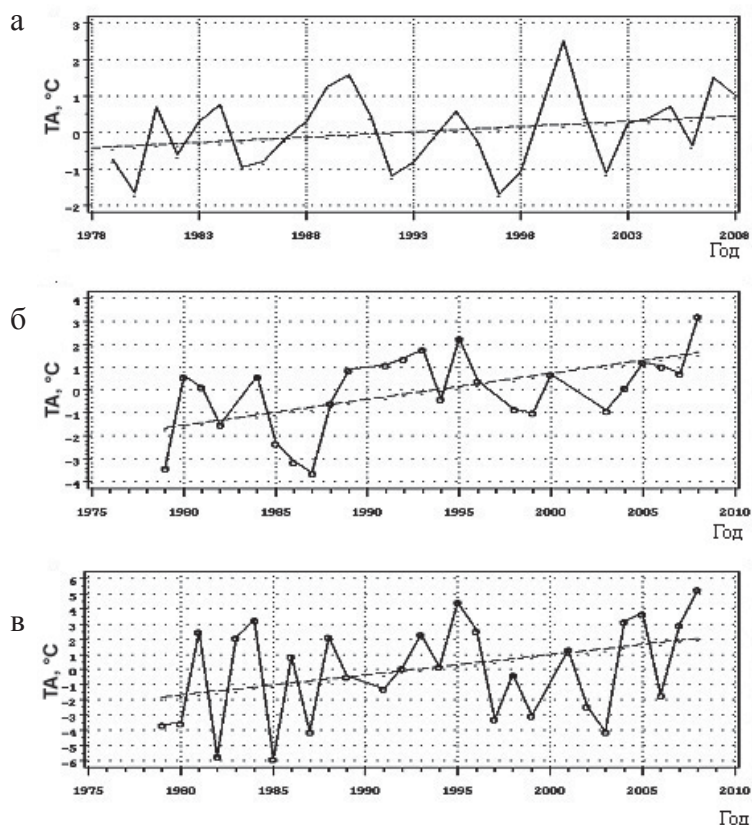


Рис. 2. Североευропейский район. Годовые аномалии температуры для станции Нарьян-Мар на поверхности 850 гПа (коэффициент линейной регрессии $\kappa=0,03$) (а); зимние аномалии температуры на уровне 850 гПа для станции Кандалакша ($\kappa=0,11$) (б); январские аномалии температуры для поверхности 850 гПа над станцией Нарьян Мар ($\kappa=0,09$) (в). АЭРОСТАБ. 1978–2008 гг.

Западно-Сибирский район. В Западно-Сибирском районе расчеты аномалий температуры проведены для каждой из следующих станций: Салехард, Остров Диксон и Норильск.

В целом за 2007–2008 гг. тропосфера над Западно-Сибирским районом была теплой, аномалии среднегодовой температуры в нижней тропосфере составляли 0,8–1,9 °С, а в средней тропосфере 0,4–1,6 °С. Наибольшее потепление характерно для восточной части района (рис. 3а). В стратосфере значения аномалий среднегодовых температур были в пределах -0,9 ... +1,2 °С.

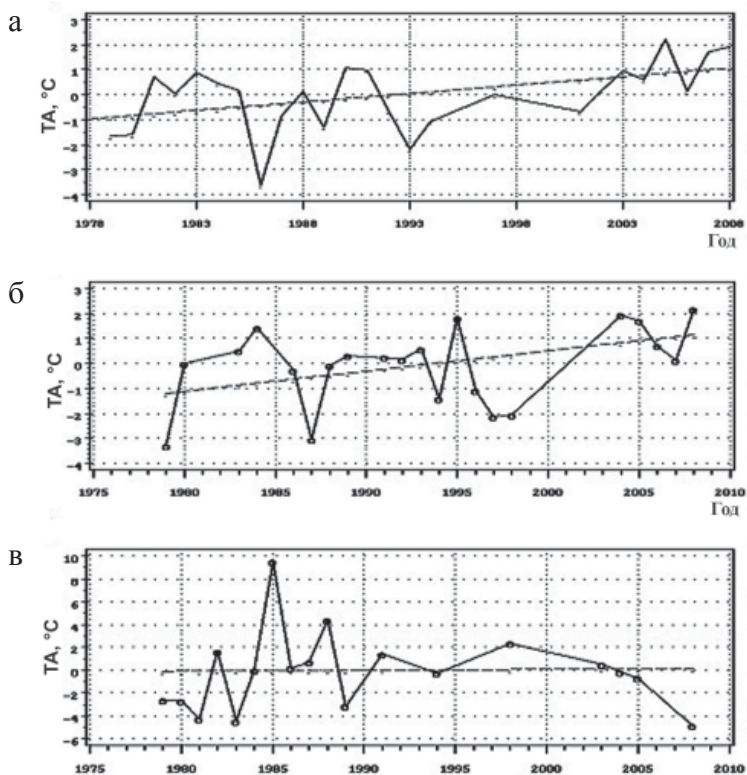


Рис. 3. Западно-Сибирский район. Годовые аномалии температуры для станции Норильск на поверхности 850 гПа (коэффициент линейной регрессии $\kappa=0,07$) (а); зимние аномалии температуры для станции Салехард на поверхности 500 гПа ($\kappa=0,08$) (б); январские аномалии температуры для станции Норильск на поверхности 100 гПа ($\kappa=0,01$) (в). АЭРОСТАБ. 1978–2008 гг.

Зимой тропосфера над Западно-Сибирским районом была теплой. В нижней тропосфере для всех станций района аномалии составили $2,5^{\circ}\text{C}$, а для средней тропосфере значения аномалий были в пределах $0,2 - 2,2^{\circ}\text{C}$. Максимальное потепление в средней тропосфере отмечено в западной части района, она была рекордно теплой над станцией Салехард (рис. 3б). Для постанционных оценок зимних аномалий в нижней стратосфере было недостаточно наблюдений.

Весной и летом значительных аномалий в атмосфере над Западно-Сибирским районом не определено. Осенью тропосфера бала теплой. В ее нижнем слое аномалии были в пределах $0,8 - 1,7^{\circ}\text{C}$, а в среднем слое тропосферы потепление не превышало $1,2^{\circ}\text{C}$. Максимальное потепление осенью в нижней тропосфере отмечено в восточной части района, над Норильском, а в средней тропосфере – над Островом Диксон.

В декабре 2007 г. над Западно-Сибирским районом тропосфера была теплой, а в нижней стратосфере отмечено слабое похолодание. В нижней тропосфере на западе района отмечен рекордно теплый декабрь: аномалии среднемесячной температуры для Салехарда составили $3,2^{\circ}\text{C}$.

В январе 2008 г. над Западно-Сибирским районом тропосфера была теплой. Аномалии в нижней тропосфере составили $2,2 - 4,3^{\circ}\text{C}$, а в средней — $1,5 - 3,8^{\circ}\text{C}$. Наибольшее потепление определено над западной и центральной частями района. В январе 2008 г. в средней тропосфере над станциями Салехард и Остров Диксон были отмечены рекордно высокие за рассматриваемый период для этих станций положительные аномалии ($3,5 - 3,8^{\circ}\text{C}$). Нижняя стратосфера была холодной: аномалии составили $-2,5 \dots -4,8^{\circ}\text{C}$. Над Норильском стратосфера была рекордно холодной за последние 30 лет, среднемесячная температура там была ниже нормы на $4,8^{\circ}\text{C}$ (рис. 3в).

Среднемесячные значения температуры в тропосфере в феврале были выше нормы, их аномалии не превышали $2,0^{\circ}\text{C}$. В нижней стратосфере температура была ниже нормы на $4,0 - 5,0^{\circ}\text{C}$.

В период с марта по ноябрь среднемесячные значения температуры в тропосфере и стратосфере в основном были в пределах нормы. В апреле было отмечено потепление в нижней стратосфере, которое в районе Норильска составило $3,9^{\circ}\text{C}$. На востоке Западно-Сибирского района в сентябре в нижней тропосфере среднемесячная температура была выше нормы на $2,7^{\circ}\text{C}$.

Восточно-Сибирский район. В Восточно-Сибирском районе расчеты аномалий проведены для каждой из следующих станций: Оленек, Тикси, Жиганск, Верхоянск.

За год в целом тропосфера над Восточно-Сибирским районом была очень теплой, самой теплой над Российской Арктикой в 2008 г. На его востоке, над Верхоянском, в нижней и средней тропосфере были отмечены самые большие аномалии температуры среди всех районов, 3,4 и 2,8 °C соответственно (см. рис. 4а). Нижняя стратосфера была в пределах нормы.

Зимой значительных аномалий температуры в тропосфере не наблюдалось. Нижняя стратосфера была холодной. Наибольшие отрицательные аномалии (-4,2 °C) для нее отмечены над Жиганском.

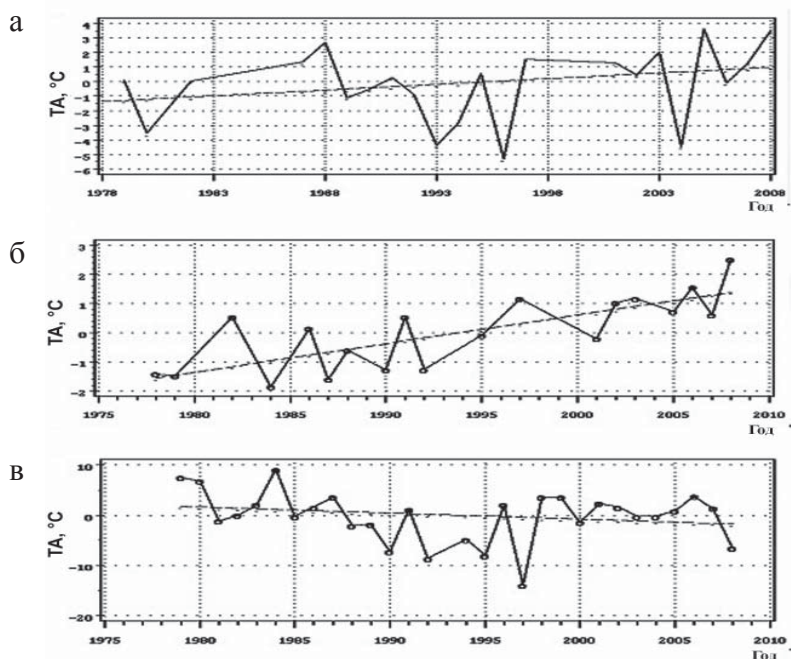


Рис. 4. Восточно-Сибирский район. Годовые аномалии температуры для поверхности 850 гПа (коэффициент линейной регрессии $\kappa=0,08$) (а); летние аномалии температуры на уровне 500 гПа ($\kappa=0,1$) (б) и мартовские аномалии температуры для поверхности 100 гПа ($\kappa=-0,12$) (в). Станция Верхоянск. АЭРОСТАБ. 1978–2008 гг.

Для всех остальных сезонов тропосфера была теплой. В нижней стратосфере были отмечены небольшие отрицательные аномалии, которые не превосходили значения $-2,0^{\circ}\text{C}$. Среди сезонов аномалии температуры в нижней тропосфере были самые большие $1,5 - 2,5^{\circ}\text{C}$ для весны, а в средней тропосфере самые большие аномалии ($1,1 - 2,5^{\circ}\text{C}$) были определены для лета. В районе Верхоянска летом тропосфера была рекордно теплой (см. рис. 4б), отклонения средней летней температуры от нормы составили $2,5^{\circ}\text{C}$. Для средней тропосферы летняя температура была на $0,9^{\circ}\text{C}$ выше предыдущего рекордного значения, отмеченного летом в 2006 году.

В январе 2008 г. в Восточно-Сибирском районе среднемесячная температура для нижней и средней тропосферы была в пределах нормы. В стратосфере было отмечено значительное похолодание, отрицательные аномалии составили $-5,0 \dots -6,2^{\circ}\text{C}$. Если в январе в Североевропейском и Западно-Сибирском районах в нижней тропосфере было отмечено потепление, то в Восточно-Сибирском районе над Верхоянском в январе было отмечено слабое похолодание ($-1,1^{\circ}\text{C}$).

В феврале в тропосфере и нижней стратосфере было отмечено слабое похолодание.

В марте в тропосфере было значительное потепление. В нижней тропосфере оно составило $3,6 - 5,8^{\circ}\text{C}$, а в средней тропосфере $2,3 - 3,1^{\circ}\text{C}$. В стратосфере было отмечено похолодание, среднемесячная температура была ниже нормы на $0,1 - 6,6^{\circ}\text{C}$. Наибольшее потепление в нижней ($5,8^{\circ}\text{C}$) и средней ($3,1^{\circ}\text{C}$) тропосфере и наибольшее похолодание в стратосфере ($-6,6^{\circ}\text{C}$) отмечено в районе Верхоянска. Потепление для марта в средней тропосфере над этим районом явилось рекордным за последний 30-летний период наблюдений (см. рис. 4б). Похолодание в марте в нижней стратосфере в районе Верхоянска (см. рис. 4в) было самым сильным в Арктическом регионе в 2008 году.

В апреле тропосфера над Восточно-Сибирским районом была холодной. Над станцией Тикси в нижней тропосфере была отмечена наиболее значительная аномалия в районе: средняя месячная температура была ниже нормы на $2,8^{\circ}\text{C}$. В апреле нижняя стратосфера была теплой. Положительные аномалии средней месячной температуры для изобарической поверхности 100 гПа на станциях района не превосходили $2,6^{\circ}\text{C}$.

В мае тропосфера над Восточно-Сибирским районом была очень теплой: в нижней тропосфере положительные аномалии

среднемесячной температуры составили 2,0 – 3,8 °С, а в средней — 1,1 – 3,5 °С. Потепление усиливалось по мере продвижения на восток. В районе Жиганска и Верхоянска потепление в тропосфере было рекордным за последние 30 лет и составило соответственно 3,2 и 3,8 °С в нижней тропосфере и 2,8 и 3,5 °С в средней. Заметим, что в мае в тропосфере над Североевропейским и Западно-Сибирским регионами было отмечено слабое похолодание, которое в районе станции Нарьян-Мар достигало -2,7 °С. Нижняя стратосфера над Восточно-Сибирским районом в мае была холодной, как и в других арктических районах, аномалии средней месячной температуры не превышали значения -2,4 °С.

Для каждого из летних месяцев тропосфера была теплой, а нижняя стратосфера – холодной. Аномалии температуры в стратосфере были менее -2,5 °С. В июне и июле потепление в средней тропосфере было более значительно, чем в нижней тропосфере. В августе потепление в нижней тропосфере значительно превысило потепление в средней ее части.

В июне наиболее значительное потепление в нижней тропосфере было в западной части района: над станцией Оленек оно составило 2,1 °С. В средней тропосфере – в его центральной и восточной части: аномалии среднемесячной температуры здесь достигали 3,7 °С над станцией Жиганск. Над станцией Верхоянск в июне средняя тропосфера была рекордно теплой за последние 30 лет, средняя месячная температура была выше нормы на 3,1 °С.

В июле максимальное потепление было отмечено над Верхоянском, которое в нижней тропосфере составило 1,1 °С, а в средней 1,9 °С.

Среди всех летних месяцев в августе в нижней тропосфере над Восточно-Сибирским районом были отмечены самые большие положительные аномалии. Над Верхоянском нижняя тропосфера была рекордно теплой за последние 30 лет радиозондовых наблюдений. Аномалии составили 5,2 °С, что на 2 °С выше предыдущего рекорда, 3,2 °С, который был отмечен в 2007 г. (рис. 5а). Для других станций в этом районе значения аномалий были в пределах 1,1 – 4,4 °С. Над станцией Тикси август был таким же рекордно теплым, как и в 1983 году, когда аномалии составляли также 4,4 °С (рис. 5б). Для средней тропосферы значения аномалий среднемесячных температур были в пределах 1,5–2,9 °С.

Среди осенних месяцев только в октябре 2008 года в атмосфере над Восточно-Сибирским районом были отмечены

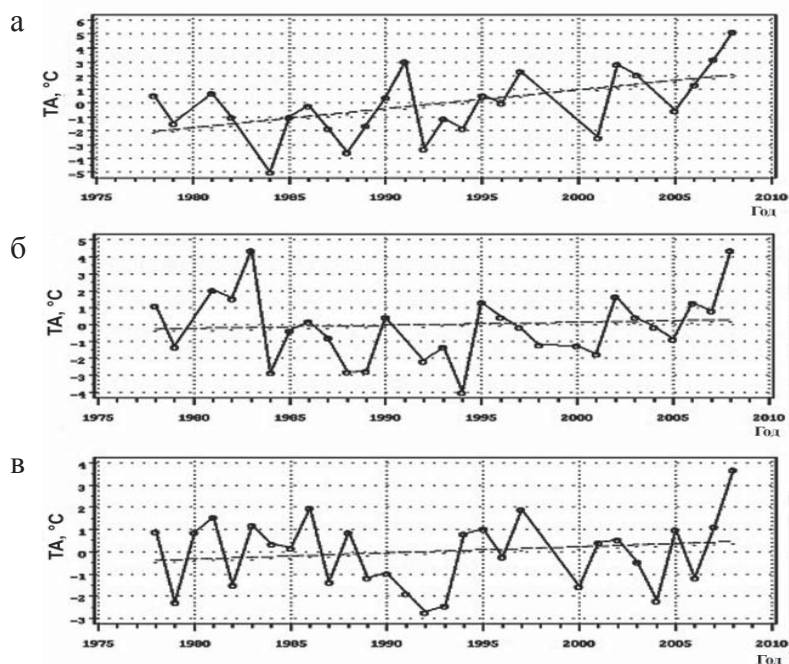


Рис. 5. Восточно-Сибирский район. Аномалии температуры на поверхности 850 гПа для августа над станцией Верхоянск (коэффициент линейной регрессии $\kappa=0,14$) (а) и Тикси ($\kappa=0,02$) (б), октябрьские аномалии температуры на уровне 850 гПа над станцией Тикси ($\kappa=0,03$) (в). АЭРОСТАБ. 1978–2008 гг.

значительные аномалии. В сентябре и ноябре тропосфера и нижняя стратосфера были в пределах нормы. В октябре для всех станций района нижняя тропосфера была рекордно теплой. Аномалии среднемесячной температуры составили 3,4–3,9 °C и превысили предыдущие рекорды как минимум на 1 °C. Максимальный скачок температуры в 2008 г. был отмечен для станции Тикси, для которой аномалии превысили предыдущее максимальное значение на 1,7 °C (рис. 5в). Максимальное потепление в нижней тропосфере (3,9 °C) отмечено над Верхоянском. В средней тропосфере потепление не превышало 1,6 °C.

В декабре 2007 г. нижняя тропосфера была теплой, аномалии средней месячной температуры не превышали $1,4^{\circ}\text{C}$; средняя тропосфера была в пределах нормы, а стратосфера была холодной со значениями аномалий в пределах $-1,8 \dots -2,8^{\circ}\text{C}$.

Антарктический регион

Для Антарктического региона расчеты аномалий температуры проведены для каждой из двух действующих российских антарктических аэрологических станций (Новолазаревская и Мирный), которые расположены в восточной части Антарктики (см. рис. 6, где показаны не только действующие российские станции, но и зарубежные, и российские закрытые станции). Заметим, что расстояние между станциями Новолазаревская и Мирный превышает 3 000 км.

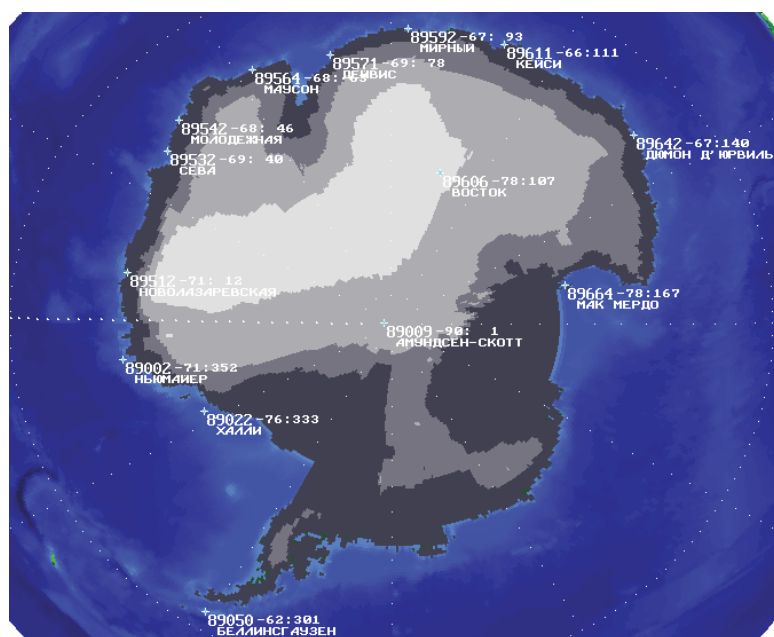


Рис. 6. Антарктические аэрологические станции

В целом за год атмосфера над Антарктикой в 2008 г. была холодной. В тропосфере аномалии среднегодовой температуры не превышали значения $-1,1^{\circ}\text{C}$, определенного для станции Новолазаревская, а в нижней стратосфере – значения $-3,2^{\circ}\text{C}$, определенного для станции Мирный. На станции Новолазаревская была рекордно холодная нижняя тропосфера за период наблюдений с 1980 г., как и в 2000 г., когда аномалии среднегодовой температуры также составляли $-1,1^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 7а).

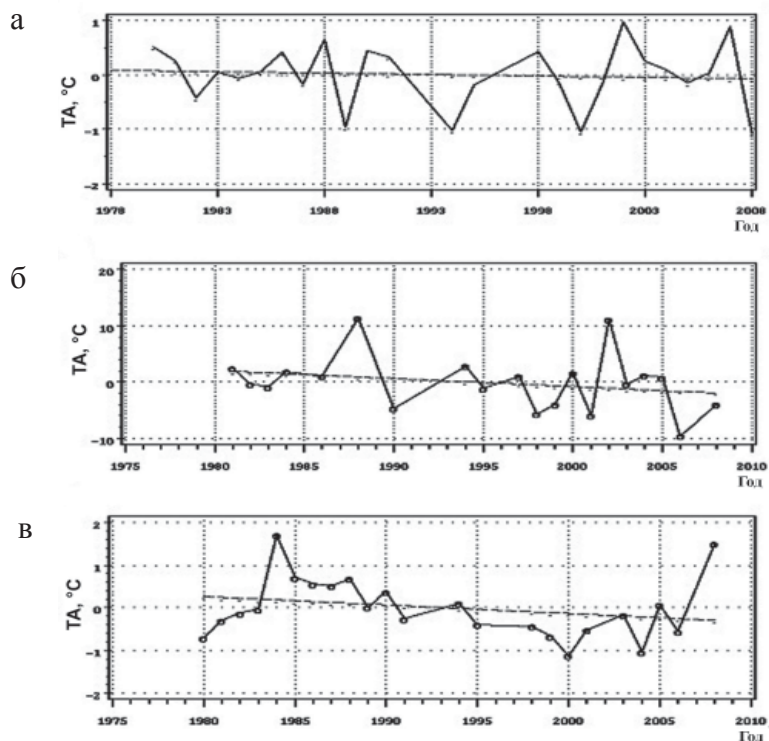


Рис. 7. Антарктический регион. Годовые аномалии температуры для изобарической поверхности 850 гПа (коэффициент линейной регрессии $\kappa=-0,01$) над станцией Новолазаревская (а); аномалии температуры на поверхности 100 гПа ($\kappa=-0,14$) над станцией Мирный для осени (местной весны) (б); аномалии температуры на поверхности 500 гПа ($\kappa=-0,02$) над станцией Новолазаревская для весны (местной осени) (в). АЭРОСТАБ. 1978–2008 гг.

Для всех сезонов, кроме весны (местной осени), над каждой из станций на анализируемых изобарических поверхностях также отмечены только отрицательные аномалии, которые не превышали в тропосфере значения $-1,6^{\circ}\text{C}$, которое было определено в нижней тропосфере летом (местной зимой) для станции Новолазаревская. Максимальное похолодание в нижней стратосфере ($-3,9^{\circ}\text{C}$) отмечено осенью (местной весной) для станции Мирный (см. рис. 7б).

Весной (местной осенью) атмосфера в Антарктике была теплой. В средней тропосфере над станцией Новолазаревская аномалии температуры составили $1,5^{\circ}\text{C}$, что на $0,2^{\circ}\text{C}$ ниже рекордного значения, отмеченного в 1984 г. (см. рис. 7в). В нижней стратосфере весной положительные аномалии температуры не превышали $1,0^{\circ}\text{C}$.

Анализ аномалий среднемесячных температур в атмосфере над каждой из станций для отдельных месяцев показал, что в январе 2008 г. тропосфера была рекордно холодной над станцией Новолазаревская, аномалии среднемесячных температур для нижней тропосферы составили $-1,4^{\circ}\text{C}$, а для средней $-2,8^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 8а).

Также рекордно холодной над станцией Новолазаревская была нижняя тропосфера в июне (см. рис. 8б), аномалии составили $-2,8^{\circ}\text{C}$, что на $0,6^{\circ}\text{C}$ ниже отмеченной ранее в 1978 г. максимальной отрицательной аномалии. Наибольшая отрицательная аномалия среднемесячных температур для антарктических станций в нижней тропосфере, $-2,8^{\circ}\text{C}$, была определена в июне над станцией Новолазаревская. Это привело к рекордно холодной нижней тропосфере в июне в этом районе.

В нижней стратосфере в последние месяцы (начиная с сентября) года аномалии среднемесячных температур были значительно больше, чем в тропосфере. Стратосфера в эти месяцы была холодной, аномалии достигали значений $-2,0 \dots -5,7^{\circ}\text{C}$. Наибольшее похолодание ($-5,7^{\circ}\text{C}$) было зафиксировано для ноября над станцией Мирный (см. рис. 8в).

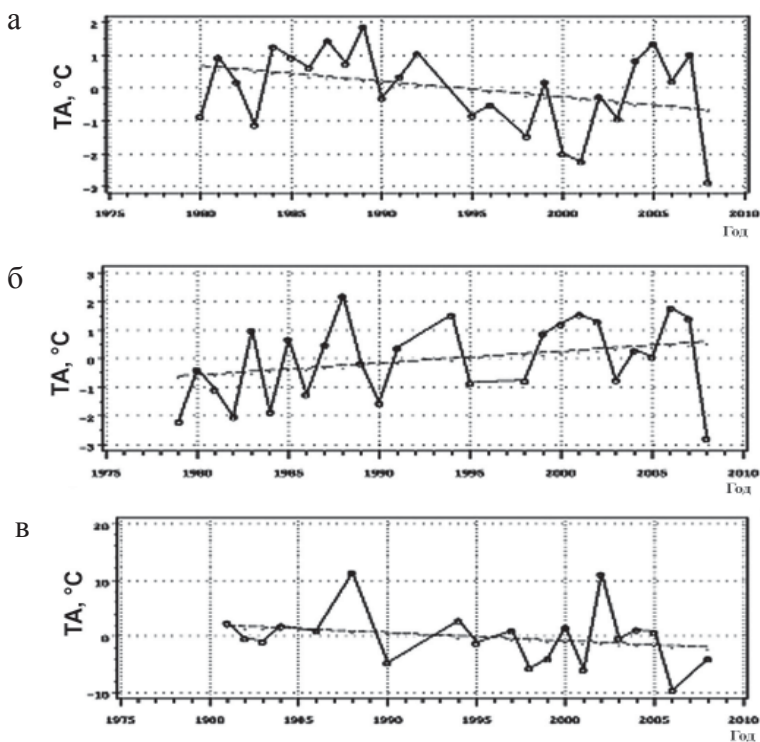


Рис. 8. Антарктический регион. Январские аномалии температуры для поверхности 500 гПа (коэффициент линейной регрессии $\kappa=-0,05$) над станцией Новолазаревская (а) и июньские – для поверхности 850 гПа ($\kappa=0,04$) (б); ноябрьские аномалии температуры на поверхности 100 гПа ($\kappa=-0,34$) над станцией Мирный (в). АЭРОСТАБ. 1978–2008 гг.

Заключение

На основе аэрологического массива АЭРОСТАБ за период 1978–2008 гг. показано: процесс потепления в тропосфере в северной полярной области за 2008 г. стал более значительным, особенно в Восточно-Сибирском районе; в зимний период наиболее значительно потепление в тропосфере усиливается в Североевропейском районе; в весенне-летний период потепление в тропосфере усиливается в Восточно-Сибирском районе; над Антарктическим регионом в нижней тропосфере и стратосфере процесс похолодания усиливается.

Данное исследование поддержано подпрограммой «Определение изменений в окружающей среде Антарктики в условиях меняющегося климата» Федеральной целевой программы «Мировой океан» и РФФИ, грант №.07-05-00264.

Литература

1. Алдухов О. А., Оржеховская В. А., Садовникова Т. О., Руденкова Т. В. Архив текущей аэрологической информации «АЭРОСТАБ» // Описание архива. – Обнинск. – 1990. – С. 28.
2. Александров Е. И., Брызгин Н. Н., Дементьев А. А., Радионов В. Ф. Мониторинг климата приземной атмосферы северной полярной области // Труды ААНИИ. – 2007. – Т. 447 – С. 18–32.
3. Алексеев Г. В. Исследование изменений климата Арктики в XX столетии // Труды ААНИИ. – 2003. – Т. 446 – С. 6–21.
4. Данилов А. И., Алексеев Г. В., Дмитриев В. Г., Клепиков А. В., Моргунов Б. А., Петров В. С. Изменение климата и устойчивое развитие Арктики // Труды ААНИИ. – 2007. – Т. 447 – С. 241–259.
5. Прик З. М. Климатическое районирование Арктики // Труды ААНИИ. – 1971. – Т. 304. – С. 72–84.
6. Черных И. В., Алдухов О. А. Тренды температуры и содержания водяного пара в тропосфере над Западно-Сибирским районом Арктики // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2009. – Вып. 175. – С. 174–188.
7. Alduchov O. A., Chernykh I. V. Temperature Trends in Troposphere over North-West of Siberia Detected by the Method Based on the Using of Hourly Observations // Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling - WMO. C.P. Geneva 2. Switzerland. – 2008. <http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/wgne/BlueBook/> -P. 02-03 - 02-04
8. Alduchov O. A., Eskridge R. E. Complex quality control of upper air parameters at mandatory and significant levels for the CARDS dataset // NCDC Report. – 1996. – P. 151.
9. Chernykh I. V., Alduchov O. A. Climatic Changes of Cloudiness and Some Upper-Air Parameters In Arctic Region // Presentation of the Arctic climate impact assessment overview report and International workshop on climate changes in the Arctic and International Polar Year 2007/2008 in the Russian Arctic. 30 March - 1 April, 2005 г. -Arctic & Antarctic Institute, St. Petersburg, Russia. Abstracts. – 2005. – P. 14–15.
10. Chernykh I. V., Alduchov O. A. About Climatic Changes of Cloud Layers Vertical Structure and Some Upper-Air Parameters in Arctic Region // ACSYS final science conference. Abstracts. Arctic and Antarctic Research Institute of Roshydromet. St. Petersburg, Russia. 11–14 November 2003. – St. Petersburg. – 2003. – P. 31.
11. Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V., Zhai P., Polansky A. C., Doty S. R. A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): rough and systematic errors // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1995. – Vol. 76, №10. – P. 1759–1775.

И.В. Черных, О.А. Алдухов

ТРЕНДЫ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОДЕРЖАНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В ТРОПОСФЕРЕ НАД ЗАПАДНО-СИБИРСКИМ РАЙОНОМ АРКТИКИ

Введение

В связи со значительным потеплением и усилением циклонической активности в Арктическом регионе [3, 5, 7, 11] полезно получить оценки климатических изменений температуры и содержания водяного пара в тропосфере над отдельными регионами российской Арктики по данным измерений, полученных при радиозондировании атмосферы на российских полярных аэрологических станциях. Тем более, что в работе [11] на основе данных спутниковых наблюдений (TIROS) и данных реанализа (ERA-40) для осеннего периода была определена связь изменчивости границ морского льда и количества облачности, уменьшение нижней и увеличение средней облачности.

Для исследования климатических изменений температуры (Т) и содержания водяного пара в столбе воздуха (VA) в арктической тропосфере за период 1964 – 2007 гг. получены оценки трендов для Т и VA для стандартных изобарических поверхностей в тропосфере над Западно-Сибирским районом Арктики на примере прибрежной станции Остров Диксон и континентальной станции Салехард. Расчеты проведены на основе глобального проконтролированного массива аэрологических зондирований КАРДС [9]. Оценки трендов получены с помощью точечного метода [1, 2] для различных месяцев, сезонов и года за сутки в целом, а также отдельно для сроков 00 и 12 GMT.

Данные

Результаты получены на основе данных стандартных радиозондовых наблюдений массива КАРДС. За период наблюдений 1964 – 2007 гг. было обработано 23 401 зондирований для станции Остров Диксон и 27 283 зондирования – для станции Салехард. Число наблюдений для сроков 00 и 12 GMT практически одинаково для обеих станций (заметим, что срок 00 GMT соответствует 05 ч местного времени для Острова Диксон и 04 час – для Салехарда). Климатические

изменения проанализированы для температуры и содержания водяного пара в столбе воздуха в тропосфере. Данная характеристика влажности характеризует абсолютное содержание влаги в столбе воздуха от уровня земли до соответствующей изобарической поверхности и является интегральным параметром по высоте. Она была рассчитана по формуле Магнуса на основе данных о температуре и дефиците точки росы, содержащихся в исходном массиве [8].

Частично оценки трендов зависят от качества данных. Для примера число наблюдений за температурой и число достоверных данных после процедуры комплексного контроля [9] представлены в таблицах 1 и 2 для различных месяцев, сезонов и за год для поверхности 850 гПа. Как следует из таблицы 2, число забракованных значений за год в целом составляет 1,1 и 1,4 % от числа всех зондирований (см. табл. 2) для Острова Диксон и Салехарда соответственно.

Т а б л и ц а 1

Число наблюдений (N) за температурой (Т) и число достоверных данных после процедуры комплексного контроля (N1) на поверхности 850 гПа для различных месяцев

Станция		Месяцы											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Остров Диксон	N	1 975	1 836	2 068	1 937	2 065	1 971	2 031	1 849	1 835	1 911	1 936	1 987
	N1	1 961	1 822	2 050	1 915	2 035	1 944	2 009	1 832	1 817	1 889	1 911	1 966
Салехард	N	2 347	2 139	2 440	2 411	2 384	2 269	2 158	2 238	2 267	2 274	2 106	2 250
	N1	2 325	2 120	2 409	2 398	2 334	2 216	2 129	2 204	2 239	2 244	2 083	2 210

Т а б л и ц а 2

Число наблюдений за температурой (Т) на поверхности 850 гПа для сезонов и за год и достоверных данных после процедуры комплексного контроля

Станция	Контроль	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Остров Диксон	Число наблюдений	5 798	6 070	5 851	5 682	23 401
	Число достоверных данных	5 749	6 000	5 785	5 617	23 151
		(99,2)	(98,9)	(98,9)	(98,9)	(98,9)
Салехард	Число наблюдений	6 736	7 235	6 665	6 647	27 283
	Число достоверных данных	6 655	7 141	6 549	6 566	26 911
		(99,2)	(98,7)	(98,3)	(98,8)	(98,6)

Примечание. В скобках указано процентное содержание достоверных данных.

Особенностью аэрологических данных является их неоднородность по высоте [4], что также оказывает влияние на получаемые оценки трендов [6]. В таблице 3 приведено число наблюдений за влажностью, использованных при исследовании для различных месяцев на стандартных поверхностях 850, 400 гПа. Она показывает,

Т а б л и ц а 3

Число наблюдений за влажностью на уровнях 850
и 400 гПа для различных месяцев

Уровень (гПа)	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Остров Диксон											
400	654 (47)	675 (50)	816 (53)	747 (52)	1 013 (67)	1 275 (91)	1420 (97)	1 193 (94)	1 028 (81)	684 (53)	655 (48)	644 (46)
850	654 (47)	675 (50)	816 (53)	747 (52)	1 013 (67)	1 275 (91)	1 420 (97)	1 193 (94)	1 028 (81)	684 (53)	655 (48)	644 (46)
	Салехард											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Салехард											
400	1 547 (100)	1 391 (100)	1 657 (100)	1 716 (100)	1 758 (100)	1 801 (100)	1 711 (100)	1 731 (100)	1 789 (100)	1 639 (100)	1 429 (100)	1 489 (100)
850	1 902 (100)	1 729 (100)	1 995 (100)	1 987 (100)	1 877 (100)	1 803 (100)	1 693 (100)	1 762 (100)	1 872 (100)	1 854 (100)	1 736 (100)	1 842 (100)

Примечание. В скобках указано процентное содержание достоверных данных.

что число наблюдений за влажностью убывает с высотой, особенно в холодные месяцы. Например, для Острова Диксон в холодные месяцы число данных о влажности для изобарической поверхности 400 гПа составляет около 50 % по сравнению с числом данных о влажности для поверхности 850 гПа. Причиной этого является то, что в холодную и влажную погоду радиозонды поднимаются на меньшую высоту.

Метод

Оценки трендов аномалий температуры и параметра влажности на стандартных изобарических поверхностях были получены с помощью точечного метода, основанного на использовании временных рядов наблюдений с учетом возможных корреляций результатов наблюдений во времени [1, 2]. Заметим, что точечный метод был разработан для оценок трендов применительно к неравномер-

ным во времени наблюдениям. Примерами таких неравномерных данных являются результаты аэрологических наблюдений на больших высотах для большинства аэрологических станций. Он позволяет использовать все имеющиеся наблюдения и в то же время избежать ошибочных выводов, основываясь на редких наблюдениях.

Расчеты трендов метеопараметров проведены для всех месяцев, сезонов и за год в целом для сроков 00 и 12 GMT и за сутки в целом.

Для визуализации изменений средних значений и трендов с высотой была использована линейная интерполяция соответствующих значений, рассчитанных для изобарических поверхностей.

Результаты. Тренды температуры

На рисунке 1а представлены многолетние средние значения температуры на стандартных изобарических поверхностях в тропосфере на различных месяцах, сезонах и за год. Соответствующие линейные тренды во временных рядах аномалий температуры на изобарических поверхностях в тропосфере, вычисленные с помощью точечного метода, представлены на рисунке 1(б – г). Вследствие непрерывности климатических изменений в атмосфере на этих рисунках представлены все определенные тренды (с различной значимостью), тренды со значимостью не менее 50 % и тренды со значимостью не менее 95 % соответственно.

Рисунок 1б показывает, что тенденции климатических изменений в тропосфере над Арктикой неоднородны как в пространстве, так и во времени. Потепление определено на всех уровнях в тропосфере над Салехардом для всех месяцев (за исключением декабря), сезонов и за год в целом. Над Островом Диксон потепление определено для всех месяцев, сезонов и за год только в нижней тропосфере, и только весной оно определено во всей тропосфере. Над Островом Диксон для марта, мая, июня потепление определено также в средней и верхней тропосфере, а для остальных месяцев, зимы, лета и осени в средней и/или верхней тропосфере определено похолодание. За год в целом было определено слабое похолодание на верхних уровнях тропосферы. Рисунок 1в показывает, что для обеих станций не все тренды были определены на уровне значимости более чем 50 %.

Потепление в тропосфере на уровне значимости не менее 95 % для обеих станций определено для января, мая, июня,

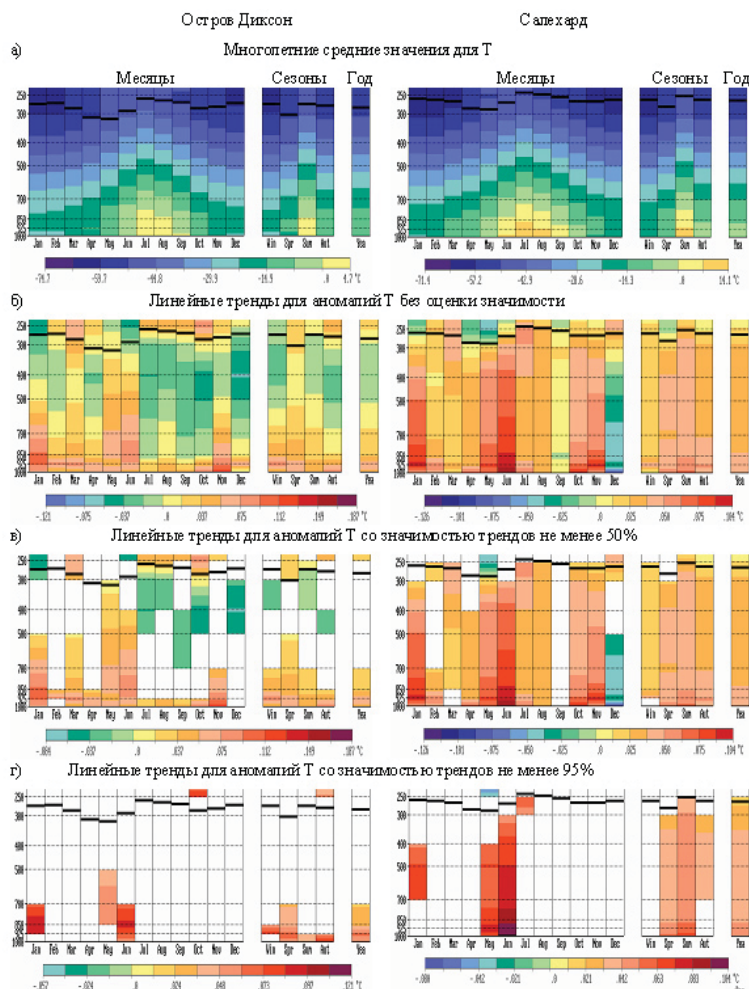


Рис. 1. Многолетние средние значения для температуры (а) и линейные тренды во временных рядах аномалий ($T^{\circ}\text{C}/\text{год}$) для изобарических поверхностей, вычисленные с помощью точечного метода, для различных месяцев (слева), сезонов (в центре) и для года (справа) без оценки значимости (б), со значимостью трендов не менее 50 % (в) и не менее 95 % (г). Черной линией отмечена тропопауза. Станции: Остров Диксон (левый столбец) и Салехард (правый столбец). КАРДС. 1964 – 10.2007 гг.

весны, лета, осени, за год в целом (см. рис.1г). Над Салехардом оно зафиксировано в тропосфере для большинства уровней, а над Островом Диксон – только в нижней тропосфере. Для Острова Диксон значимое потепление в нижней тропосфере определено также и зимой.

В таблице 4 представлены значения линейных трендов для аномалий температуры за сутки в целом для сезонов на поверхностях 850, 700, 500 гПа. Из данных табл. 4 видно, что наибольшее потепление в данном временном масштабе отмечено на поверхности 850 гПа. Наибольшее потепление, 0,5 °С/десятилетие, отмечено для Острова Диксон зимой (уровень значимости тренда – 97%), а для Салехарда – летом (уровень значимости тренда – 99%). Для остальных сезонов потепление не превышает 0,4 °С/десятилетие.

Т а б л и ц а 4

Линейные тренды для аномалий температуры (°С/десятилетие) на стандартных изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа, вычисленные с помощью точечного метода для различных сезонов за сутки в целом.

Станция	Зима			Весна			Лето			Осень		
	Стандартные изобарические поверхности, гПа											
	500	700	850	500	700	850	500	700	850	500	700	850
Остров Диксон	–	0,3	0,5	–	0,4	0,4	–	0,2	0,3	-0,2	–	–
Салехард	–	–	–	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4

П р и м е ч а н и е. Тренды со значимостью 99% отмечены курсивом. Значимость остальных трендов – не менее 93 %.

В таблице 5 приведены линейные тренды для аномалий температуры на поверхностях 925 и 850 гПа (соответствующих высотам пограничного слоя) для сезонов отдельно в сроки 00 и 12 GMT и за сутки в целом. Как показывает табл. 5, над Островом Диксон наибольшее потепление на поверхностях и 925 и 850 гПа (1,0 и 0,6 °С/десятилетие, уровень значимости трендов – 99 и 97 %) отмечено зимой в срок 00 GMT. Над Салехардом наибольшее потепление (0,6 и 0,5 °С/десятилетие) определено для лета в сроки 00 и 12 GMT и осени в срок 00 GMT (уровень значимости трендов – 99%). Над обеими станциями летом потепление днем и ночью одинаково. В остальные сезоны потепление на поверхностях 925 и 850 гПа в ночной срок в основном преобладает над потеплением в дневной срок.

На 95 % уровне значимости для января, мая, июня за сутки в целом выше было определено потепление на отдельных изобарических поверхностях в тропосфере. В таблице 6 представлены значения линейных трендов аномалий температуры на поверхностях 850, 700 и 500 гПа для этих месяцев и за год.

Т а б л и ц а 5

Линейные тренды для аномалий температуры (°С/десятилетие)
на изобарических поверхностях 925 и 850 гПа
для различных сезонов в сроки 00 и 12 GMT и за сутки

Станция	Зима			Весна			Лето			Осень		
	00 GMT	12 GMT	Сутки	00 GMT	12 GMT	Сутки	00 GMT	12 GMT	Сутки	00 GMT	12 GMT	Сутки
850 гПа												
Остров Диксон	0,6	0,4	0,5	<i>0,5</i>	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	–	–
Салехард	–	–	–	0,4	0,4	0,4	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	0,4	0,3	0,4
925 гПа												
Остров Диксон	<i>1,0</i>	0,7	<i>0,8</i>	<i>0,8</i>	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5	0,8	0,3	0,5
Салехард	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5

П р и м е ч а н и е. Тренды со значимостью 99 % отмечены курсивом. Значимость остальных трендов выше 80 %.

Как показывает таблица 6, наибольшее потепление в эти месяцы над обеими станциями определено на поверхности 850 гПа: для Острова Диксон декадные изменения в январе составляют 1 °С/десятилетие; для Салехарда в июне – 0,9 °С/десятилетие. За год в целом оно составляет приблизительно 0,4 °С/десятилетие над обеими станциями.

Раздельно в сроки 00 и 12 GMT для этих месяцев (января, мая, июня) и за год линейные тренды для аномалий температуры на поверхностях 925 и 850 гПа (они приходятся на пограничный слой) приведены в таблице 7.

Она показывает, что над Островом Диксон наибольшее потепление на поверхности 850 гПа, 1,3 °С/десятилетие (уровень значимости тренда – 99 %), отмечено для января в 00 GMT, причем оно более чем в два раза превышает потепление в 12 GMT.

Т а б л и ц а 6

Линейные тренды аномалий температуры ($^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$) на стандартных изобарических поверхностях 850, 700 гПа, 500 гПа, вычисленные с помощью точечного метода для января, мая, июня и года за сутки в целом

Станция	Январь			Май			Июнь			Год		
	Стандартные изобарические поверхности, гПа											
	500	700	850	500	700	850	500	700	850	500	700	850
Остров Диксон	–	0,7	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,7	0,9	–	0,2	0,4
Сале- хард	0,6	0,7	0,8	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,4	0,4	0,4

Пр и м е ч а н и е. Тренды со значимостью 99% отмечены курсивом. Значимость остальных трендов – не менее 93%.

Т а б л и ц а 7

Линейные тренды аномалий температуры ($^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$) на изобарических поверхностях 925 и 850 гПа в сроки 00 GMT и 12 GMT и за сутки в целом для января, мая, июня и года

Станция	Январь			Май			Июнь			Год		
	00 GMT	12 GMT	Сутки	00 GMT	12 GMT	Сутки	00 GMT	12 GMT	Сутки	00 GMT	12 GMT	Сутки
850 гПа												
Остров Диксон	<i>1,3</i>	0,6	<i>1,0</i>	<i>0,5</i>	<i>0,7</i>	<i>0,6</i>	<i>0,9</i>	<i>0,9</i>	<i>0,9</i>	<i>0,4</i>	0,3	0,4
Салехард	0,7	0,9	0,8	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,7</i>	<i>0,9</i>	<i>1,0</i>	<i>0,9</i>	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>	<i>0,4</i>
925 гПа												
Остров Диксон	1,5	–	1,0	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>0,9</i>	0,6	0,7	<i>0,8</i>	<i>0,5</i>	<i>0,6</i>
Салехард	0,9	1,0	0,9	<i>0,7</i>	<i>0,8</i>	<i>0,8</i>	<i>0,9</i>	<i>1,1</i>	<i>1,0</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>	<i>0,5</i>

Пр и м е ч а н и е. Тренды со значимостью 99% отмечены курсивом. Значимость остальных трендов – выше 90 %.

На поверхности 925 гПа потепление для января в срок 00 GMT составляет $1,5^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$, а в срок 12 GMT значимого потепления не отмечено. Табл. 7 показывает, что над Островом Диксон в январе, июне и за год в основном ночное потепление преобладает над дневным. Над Салехардом наибольшее потепление, $1,1^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ отмечено в июне в срок 12 GMT на поверхности 925 гПа.

Для рассматриваемых месяцев и за год над Салехардом дневное потепление в основном несколько (на 0,1 – 0,2 °С/десятилетие) больше ночного.

Таблицы 5 и 7 показывают, что ночное потепление преобладает по сравнению с дневным над прибрежной станцией (Островом Диксон) – в холодные и переходные сезоны, за год в целом и в январе, а над континентальной (Салехардом) – только зимой и осенью. Над Салехардом весной, летом и за год в целом величина потепления одинакова для обоих сроков. В летний сезон над прибрежной станцией величина потепления также одинакова для обоих сроков.

Тренды содержания водяного пара в столбе воздуха

На рисунке 2 представлены многолетние средние месячные значения содержания водяного пара в столбе воздуха VA для изобарических поверхностей и линейные тренды в соответствующих временных рядах аномалий VA, вычисленные с помощью точечного метода. Так же как для температуры, для представления качественной картины тренды для VA представлены для различных месяцев, сезонов и за год без оценки значимости, со значимостью трендов не менее 50 % и со значимостью трендов не менее 95 %.

Рисунок 2 показывает, что наибольшие средние значения VA в тропосфере над обеими станциями имеют место летом. На поверхности 500 гПа оно равно 13,7 кг/м² – станция Остров Диксон и 18,1 кг/м² – Салехард. Но тенденции климатических изменений VA летом противоположны для этих станций: содержание водяного пара в столбе воздуха уменьшается над станцией Остров Диксон и увеличивается над Салехардом (рис. 2б, в). Например, тренды на поверхности 500 гПа, определенные со значимостью 82 и 92 %, составляют -0,2 и 0,3 кг/м²/десятилетие для Острова Диксон и Салехарда соответственно.

Рисунки 1б и 2б показывают качественную тенденцию над Островом Диксон к похолоданию летом в средней и верхней тропосфере в июле и августе с уменьшением VA и потепление в июне со слабым увеличением VA, а над Салехардом – во все летние месяцы – потепление и возрастание VA. Над Салехардом эти тенденции отмечены во все сезоны. Над Островом Диксон в зимние месяцы определено возрастание VA с потеплением в нижней тропосфере и похолоданием – в средней/верхней. Для осени в целом над

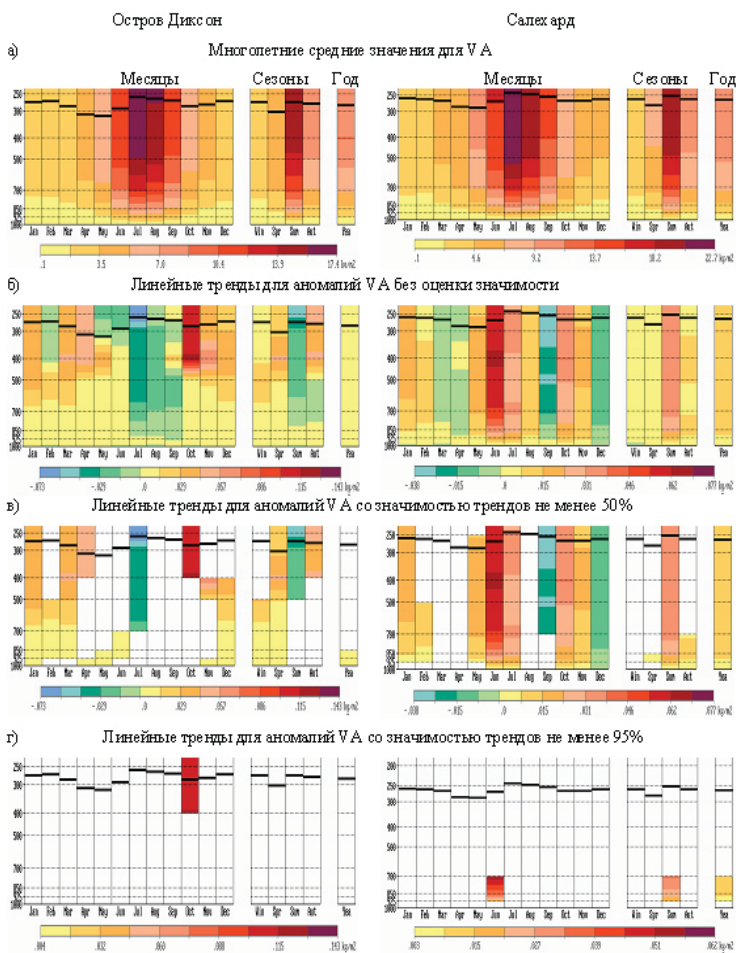


Рис. 2. Многолетние средние значения ($\text{кг}/\text{м}^2$) для содержания водяного пара в столбе воздуха VA (а) и линейные тренды во временных рядах аномалий VA ($\text{кг}/\text{м}^2/\text{год}$) для изобарических поверхностей, вычисленные с помощью точечного метода для различных месяцев (слева), сезонов (в центре) и для года (справа) без оценки значимости (б), со значимостью трендов не менее 50 % (в) и не менее 95 % (г). Черной линией отмечена тропопауза. Станции: Остров Диксон (левый столбец) и Салехард (правый столбец). КАРДС. 1964–10.2007 гг.

Островом Диксон рисунки показывают потепление и увеличение VA в нижней тропосфере и похолодание и уменьшение VA – в средней, похолодание и увеличение VA – в верхней тропосфере, при этом имеются некоторые различия в изменениях температурно-влажностного режима в отдельные осенние месяцы. В сентябре отмечено потепление в нижней тропосфере и похолодание в средней и верхней и уменьшение VA практически во всей тропосфере, в октябре температура изменяется аналогично, а содержание водяного пара возрастает, особенно в верхней тропосфере (принципиально это может привести к изменению влагообмена между тропосферой и стратосферой). В ноябре отмечено возрастание VA во всей тропосфере и потепление в нижней и средней тропосфере и похолодание – в верхней.

Рисунок 2г показывает, что увеличение содержания водяного пара на уровне значимости не менее 95 % определено в верхней тропосфере над Островом Диксон в октябре: на поверхности 400 гПа скорость его увеличения равна 1,2 кг/м²/десятилетие (соответствующий тренд для аномалий T составил -0,5 °C/десятилетие на уровне значимости 91 %). Над Салехардом оно зафиксировано в нижней тропосфере за год в целом, летом, в июне: на поверхности 700 гПа скорость его увеличения равна 0,1; 0,3; 0,5 кг/м²/десятилетие соответственно (соответствующие тренды для аномалий T составили при этом 0,4; 0,4; 0,8 °C/десятилетие на уровне значимости не менее 99 %.)

Выше было показано (рис. 1), что потепление со значимостью не менее 95% было определено на отдельных изобарических поверхностях в январе, мае, июне, весной, летом, осенью и за год над обеими станциями. Для Острова Диксон оно зафиксировано и зимой.

В таблицах 8 и 9 представлены значения линейных трендов во временных рядах аномалий VA для января, мая, июня, сезонов, а также за год в сроки 00 и 12 GMT и за сутки в целом. Как показывают таблицы 5 и 8, наибольшее потепление среди сезонов в пограничном слое (на поверхностях 925 и 850 гПа) отмечено совместно с максимальным увеличением VA в средней и нижней тропосфере: над Островом Диксон – зимой в срок 00 GMT, а над Салехардом – летом в 12 GMT.

Т а б л и ц а 8

Линейные тренды во временных рядах аномалий содержания водяного пара в столбе воздуха $VA \times 10$ ($\text{кг}/\text{м}^2/\text{десятилетие}$) на стандартных изобарических поверхностях 925, 850, 700, 500 гПа, вычисленные с помощью точечного метода, для различных сезонов в сроки 00 и 12 GMT и за сутки

Срок	Зима				Весна				Лето				Осень			
	Стандартные изобарические поверхности, гПа															
	500	700	850	925	500	700	850	925	500	700	850	925	500	700	850	925
	Остров Диксон															
00 GMT	3,2	1,0	0,8	0,5	–	–	0,6	0,4	–	–	–	–	–	–	–	–
12 GMT	2,7	–	0,6	0,3	1,7	0,8	0,7	0,4	–2,6	–	–	–	–	–	–	–
Сутки	2,9	0,8	0,7	0,4	1,5	–	0,6	0,4	–2,1	–	–	–	–	–	–	–
	Салехард															
00 GMT	–	–	–	–	–	–	–	–	3,0	2,9	2,1	1,3	–	–	–	0,7
2 GMT	–	–	–	–	–	–	–	–	3,9	3,8	2,8	1,6	–	–	–	0,7
Сутки	–	–	–	–	–	–	–	–	3,4	3,4	2,4	1,4	–	–	0,9	0,7

Пр и м е ч а н и е. Тренды со значимостью 99 % отмечены курсивом. Значимость остальных трендов выше 80 %.

Согласно данным таблиц 6, 7 и 9, потепление и увеличение VA за год определено для большинства уровней в средней и нижней тропосфере над Салехардом и только в нижней тропосфере над Островом Диксон. Как показывают таблицы 7 и 9, наибольшее потепление в пограничном слое (для отдельных месяцев) отмечено совместно с максимальным увеличением VA в средней тропосфере: над Островом Диксон – для января в срок 00 GMT, а над Салехардом – в июле в срок 12 GMT.

Полученные результаты для Острова Диксон качественно согласуются с результатами об увеличении средней и уменьшении нижней облачности в осенний период в районе границ морского льда, которые были получены в работе [11] на основе данных спутниковых наблюдений (TIROS) и данных реанализа (ERA-40). Действительно, выше было показано, что для сентября, октября и осеннего периода в целом в пограничном слое определено потепление, в средней тропосфере – похолодание, в октябре и в осенний период в целом определено увеличение содержания водяного пара в средней и верхней тропосфере (400 – 300 гПа).

Т а б л и ц а 9

Линейные тренды во временных рядах аномалий содержания водяного пара в столбе воздуха $VA \times 10$ (кг/м²/десятилетие) на стандартных изобарических поверхностях 925, 850, 700, 500 гПа, вычисленные с помощью точечного метода, для января, мая, июня и за год в сроки 00 и 12 GMT и за сутки

Срок	Январь				Май				Июнь				Год			
	Стандартные изобарические поверхности, гПа															
	500	700	850	925	500	700	850	925	500	700	850	925	500	700	850	925
Остров Диксон																
00 GMT	5,1	2,0	1,5	0,9	–	–	–	–	–	–	2,0	1,3	–	–	0,6	0,4
12 GMT	2,2	–	–	–	1,4	1,1	0,7	0,5	–	–	–	–	–	–	–	0,3
Сутки	3,7	–	0,8	0,5	–	–	–	–	–	–	1,3	0,9	–	–	0,5	0,4
Салехард																
00 GMT	1,9	–	–	–	–	–	–	–	5,8	5,2	3,4	1,9	1,2	1,1	0,9	0,6
12 GMT	–	–	–	–	–	–	–	–	6,4	5,5	3,7	1,9	1,3	1,3	1,0	0,6
Сутки	1,8	1,4	0,8	–	–	–	1,2	–	6,1	5,3	3,5	1,9	1,3	1,2	1,0	0,6

Пр и м е ч а н и е. Тренды со значимостью 99 % отмечены курсивом. Значимость остальных трендов выше 80 %.

Выводы

Потепление в тропосфере на уровне значимости не менее 95 % для обеих станций определено за год в целом; среди сезонов – для весны, лета, осени; среди месяцев – для января, мая, июня. Над Островом Диксон значимое потепление определено также и зимой. Над Салехардом оно зафиксировано в тропосфере для большинства уровней, а над Островом Диксон – только в нижней тропосфере.

За сутки в целом для сезонов и за год наибольшее потепление в тропосфере отмечено на поверхности 925 гПа. За год в целом оно составляет 0,6 и 0,5 °C/десятилетие над станциями Остров Диксон и Салехард соответственно. Среди отдельных сезонов над Островом Диксон наиболее значительное потепление (0,8 °C/десятилетие) отмечено зимой, а над Салехардом (0,6 °C/десятилетие) – летом. Наибольшее потепление (1 °C/десятилетие) над обеими станциями определено на уровне 925 гПа: для Острова Диксон – в январе, а для Салехарда – в июне.

Расчет трендов дифференцированно для ночного и дневного сроков для поверхности 925 гПа показал, что за год в целом и для каждого из сезонов потепление определено в оба срока. При этом за год в целом над Островом Диксон потепление, определенное в срок 00 GMT, несколько больше, чем в 12 GMT, а над Салехардом их величина одинакова. Летом над обеими станциями величина потепления не зависит от срока; в остальные сезоны потепление в ночной срок в основном более значительно, чем в дневной. Максимальное потепление над Островом Диксон (1,5 °C/десятилетие) отмечено для января в срок 00 GMT, а над Салехардом (1,1 °C/десятилетие) – в июне в срок 12 GMT.

Потепление и увеличение VA за год определено для большинства уровней в средней и нижней тропосфере над Салехардом и только в нижней тропосфере – над Островом Диксон. Наибольшее потепление на поверхности 925 гПа среди сезонов отмечено совместно с максимальным увеличением VA в средней и нижней тропосфере: над Островом Диксон – зимой в срок 00 GMT, а над Салехардом – летом в срок 12 GMT. Максимальное потепление для отдельных месяцев определено совместно с максимальным увеличением VA в средней тропосфере: над Островом Диксон – для января в срок 00 GMT, а над Салехардом – в июле в срок 12 GMT.

В основном полученные результаты об изменении температурно-влажностного режима в тропосфере над Западно-Сбирским районом Арктики согласуются с гипотезой, что усиление циклонической активности в западном Арктическом регионе, возможно, оказывает влияние на потепление в Арктическом регионе, а также с результатами об изменении облачного режима в осенний период в районе границ морского льда.

Результаты могут быть использованы при анализе климатических изменений температуры, влажности, облачности, количества осадков в Арктическом регионе.

Исследование было выполнено в рамках проекта РФФИ № 07-05-00264.

Литература

1. Алдухов О. А., Черных И. В. О климатических изменениях температурно-влажностного режима в тропосфере над Антарктическим полуостровом // Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2008. – Вып. 173. – С. 270–294.
2. Алдухов О. А., Лагун В. Е., Черных И. В., Яговкина С. В. Об изменении климата в тропосфере над Антарктическим полуостровом // Проблемы полярной климатологии. – 2006. – Vol. 16. – Р. 7–22.
3. Алексеев Г. В., Захаров В. Ф., Иванов Н. Е. Изменение современного климата Арктики // Труды ААНИИ. – 2007. – Т. 447. – С. 7–16.
4. Зайцева Н. А. Аэрология. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 325 с.
5. Куражов В. К., Иванов В. В., Коржиков А. Я. Роль атмосферной циркуляции в формировании долгопериодных колебаний климата Арктики // Труды ААНИИ. – 2007. – Т. 447. – С. 33–43.
6. Стерин, А. М. О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по радиозондовым данным. Часть 1: Выбор массива данных, периода рядов и техники их анализа // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 5. – С. 21–36.
7. Черных И. В., Алдухов О. А., Оржеховская В. А. Мониторинг температуры атмосферы над полярными регионами России за 2007–2008 гг. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2009. – Вып. 175. – С. 159–173.
8. Alduchov O. A., Eskridge R. E. Improved Magnus' form approximation of saturation vapor pressure // J. Appl. Meteorol. – 1996. – Vol. 35, № 4. – Р. 601–609.
9. Alduchov O. A., Eskridge R. E. Complex quality control of upper air parameters at mandatory and significant levels for the CARDS dataset // Asheville, NC. NCDC Report. – 1996. – 135 p.
10. Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V., Zhai P., Doty S. R., Polansky A. C. A Comprehensive Aerological Reference Data Set (CARDS): Rough and systematic errors // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1995. – Vol. 76, № 10. – Р. 1959–1775.
11. Schweiger A. J., Lindsay R. W., Vavrus S., Francis J. A. Relationships between Arctic Sea Ice and Clouds during Autumn // J. of Climate. – 2008. – Vol. 21, № 18. – Р. 4799–4810.

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ В ДАННЫХ РАДИОЗОНДОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Введение

Анализ аэрологических данных наблюдений имеет свою специфику по отношению ко многим другим метеорологическим наблюдениям, т. к. на многих высотах в атмосфере (на изобарических поверхностях) имеется множество пропущенных наблюдений. Основная причина этого – недостаточная высота подъема радиозонда, а также многие другие причины, связанные с текущей технологией радиозондовых наблюдений, технологией производства оболочек зондов и датчиков измерения параметров атмосферы, реальных температур, влажности и ветра (и их воздействия на техническое состояние радиозонда) [4].

Однако даже неполные вертикальные профили могут дать нам существенную информацию о состоянии атмосферы. Пренебрежение ими или их неправильный учет может вести к абсурдным результатам анализа или к потере весьма дорогостоящих наблюдений.

Обычные методы анализа трендов основаны на использовании среднемесячных данных [5]. Такой подход весьма обоснован для наблюдений метеорологических величин на наземных метеорологических станциях, где наблюдения делаются каждые четыре или восемь часов практически без пропусков. В таких случаях каждый месяц равномерно освещен наблюдениями и имеет равный вес при оценке трендов. Но для нерегулярных наблюдений требуется сделать выбор, сколько наблюдений в течение месяца достаточно для получения достоверных среднемесячных значений и как эти наблюдения должны быть распределены внутри месяца. Примерами таких неполных данных являются радиозондовые наблюдения на высоких уровнях и метеорологические наблюдения в экстремальных погодных условиях, например в Арктике и Антарктике. Использование очень жестких критериев для отбора подходящих месяцев ведет к отбору/вычеркиванию важных и очень

дорогих наблюдений. В то же время использование очень слабых критериев может привести к неправильным выводам о многолетней изменчивости и неправильным оценкам трендов.

Поэтому встает естественный вопрос: как использовать все доступные наблюдения (которые часто очень ценные, т. к. редкие), не делая при этом неправильных выводов на основе очень редких данных? Для ответа на этот вопрос был разработан точечный метод для расчета линейных трендов, основанный на использовании срочных наблюдений с учетом возможных корреляций наблюдений во времени [1, 2].

В данной работе обсуждается проблема возможности более надежного использования неполных по высоте радиозондовых профилей для расчетов климата и оценок климатических изменений и метода «продолжения» таких профилей для температуры (T) и влажности (W).

В качестве характеристики влажности выбрано содержание водяного пара в столбе воздуха в атмосфере. Данная характеристика влажности характеризует абсолютное содержание влаги в столбе воздуха от уровня земли до соответствующей изобарической поверхности и является интегральным параметром по высоте. Она была рассчитана по формуле Магнуса на основе данных о температуре и дефиците точки росы, содержащихся в исходном массиве [7]. При работе именно с интегральным параметром по высоте наилучшим образом можно продемонстрировать необходимость разработки метода «продолжения» неполных радиозондовых профилей и показать преимущества работы с использованием множества полных по высоте профилей, как наблюдаемых, так и продолженных/ проэкстраполированных по высоте.

При расчетах использовались данные наблюдений проконтролированного массива аэрологических зондирований КАРДС [8, 9] для станций 71082 (Алерт (Alert) Канада), 70026 (Барроу (Barrow/ W. Post W.), США) и 04220 (Эгедесминне (Aasiaat/Egedesminde), Гренландия) за период наблюдений 1964–2003 годов.

1. Средние значения

Если мы попытаемся вычислить многолетние среднемесячные значения для содержания водяного пара в столбе воздуха на основе всех доступных срочных радиозондовых наблюдений, тогда для многих станций мы получим странный результат –

содержание водяного пара в столбе воздуха ниже верхних уровней меньше, чем содержание водяного пара в столбе воздуха для более низких уровней (см. табл. 1). Результаты, приведенные в таблице 1, являются определенно ошибочными, и это имеет очень простое объяснение – условный выбор верхних уровней. Хорошо известно, что при экстремальных погодных условиях (например, при холодной и влажной погоде) баллон разрывается на более низких высотах, чем при нормальных погодных условиях [4]. Как результат для многих аэрологических станций (в зависимости от регионального климата) мы имеем данные «условного» зондирования атмосферы.

Т а б л и ц а 1

Многолетние среднемесячные значения $\bar{W}$ (кг/м²), стандартные отклонения σ_W (кг/м²) и число наблюдаемых профилей N для января на станциях 71082, 70026 и 04220 на изобарических поверхностях P_i

P_i	Станция 71082			Станция 70026			Станция 04220		
	N	$\bar{W}$	σ_W	N	$\bar{W}$	σ_W	N	$\bar{W}$	σ_W
10	102	1,610	,663	47	–	–	22	–	–
20	155	1,670	0,751	95	3,311	1,647	99	2,861	2,309
30	195	1,657	0,777	358	3,128	1,560	138	2,645	1,982
50	294	1,557	0,721	488	3,208	1,682	221	2,628	1,904
70	383	1,573	0,768	531	3,186	1,702	270	2,702	1,917
100	553	1,633	0,787	567	3,210	1,735	329	2,664	1,875
150	669	1,664	0,812	577	3,184	1,736	359	2,659	1,881
200	746	1,659	0,798	585	3,171	1,747	376	2,633	1,848
250	791	1,650	0,791	592	3,152	1,752	381	2,656	1,862
300	881	1,682	0,806	594	3,136	1,751	388	2,671	1,866
400	1033	1,692	0,817	748	3,660	2,261	526	3,514	2,608
500	1396	1,903	0,983	1 711	3,521	2,014	1470	3,339	1,949
700	1907	1,305	0,658	2 202	2,406	1,537	1957	2,373	1,479
850	1918	0,621	0,342	2 202	1,314	0,891	1985	1,410	0,852

Одним из решений данной проблемы является использование для таких вычислений наиболее полных наблюдаемых профилей. Но это влечет за собой игнорирование/вычеркивание множества очень ценных наблюдений (и очень дорогих) на высоких уровнях.

Поэтому возникает вопрос: можем ли мы использовать весь набор наблюдений на всех уровнях и все же получить достоверный результат для содержания водяного пара в столбе воздуха?

Подходящий подход для решения данной проблемы состоит в следующем логически простом алгоритме:

1. Изучаем статистические свойства наиболее полных наблюдённых профилей метеорологической величины для конкретной станции;

2. Предполагаем, что такие же свойства должны быть наблюдаемы для неполных профилей, и экстраполируем имеющиеся в распоряжении неполные профили на основе известных свойств полных профилей;

3. На основе множества полных по высоте профилей делаем необходимые заключения.

Стандартной техникой для реализации такого подхода, которую можно использовать, является метод оптимальной интерполяции (ОИ) [3]. В нашем случае она является оптимальной вертикальной экстраполяцией.

На основе всех имеющихся в распоряжении наблюдений для каждого параметра атмосферы f можно вычислить так называемые многолетние средние значения $\bar{f}_i$, стандартные отклонения σ_{f_i} и вертикальные коэффициенты корреляции

$$\mu_{i,i+1}^f = \frac{\overline{f_i \cdot f_{i+1}} - \bar{f}_i \cdot \bar{f}_{i+1}}{\sigma_{f_i} \cdot \sigma_{f_{i+1}}}. \quad (1)$$

Далее, каждое продолженное значение $\hat{f}_{i+1}$ для каждого незаконченного наблюденного профиля следует вычислять как

$$\hat{f}_{i+1} = \bar{f}_{i+1} + \mu_{i,i+1}^f \cdot (f_i - \bar{f}_i) \cdot \frac{\sigma_{f_{i+1}}}{\sigma_{f_i}}. \quad (2)$$

Согласно ОИ теории, оценка (2) является «оптимальной» в смысле минимальной квадратической ошибки интерполяции/экстраполяции. Действительно, если коэффициент корреляции (который был оценен на базе действительных более полных профилей для этих станций) достаточно большой, тогда отклонение $\hat{f}_{i+1} - \bar{f}_{i+1}$ от «наблюдённых» средних значений $\bar{f}_{i+1}$ будет аналогичным (пропорциональным коэффициенту корреляции

и соотношению действительных изменений на этих двух уровнях) действительно наблюдаемому отклонению $f_i - \bar{f}_i$ для предыдущего уровня. Но если коэффициент корреляции мал, тогда отклонение $\hat{f}_{i+1} - \bar{f}_{i+1}$ будет близко к нулю, что означает, что «продолженное» значение $\hat{f}_{i+1}$ будет близко к «наблюдаемому» среднему значению $\bar{f}_{i+1}$ и не будет значительно влиять на наши оценки значения $\hat{f}_{i+1}$ (среднего значения, рассчитанного по множеству полных по высоте профилей).

«Продолженные» значения $\hat{f}_{i+1}$ в выражении (2) не являются наблюдаемыми значениями. Но эти значения содержат много статистической информации о действительно наблюдаемых значениях («наблюдаемых» средних значениях, изменчивости и коэффициенте корреляции). Если для действительно наблюдаемого значения мы положим единицу (1) как меру «информационной достоверности», тогда значение информационной достоверности для таких «продолженных» значений может быть оценено как значение коэффициента корреляции (или результат умножения предыдущих коэффициентов корреляции при многократных продолжениях). Конечно, каждый предпочтет использовать значение с единичной информационной достоверностью (т.е. наблюдаемое значение). Но слишком дорого вычеркивать данные с любой неединичной «информационной мерой».

Если мы применим такой подход к нашим данным (профилям температуры и влажности), тогда мы получим многолетние среднemesячные значения, приведенные в таблице 2.

Очевидно, профили среднемесячных значений для содержания водяного пара в столбе воздуха в таблице 2 смотрятся более реалистичными профилями, потому что они возрастают монотонно с увеличением высоты. Также наши корректировки демонстрируют, что высоты подъема зондов имеют тенденцию быть ниже во влажную погоду, чем в сухую (по крайней мере, на трех рассматриваемых станциях в январе).

Давайте сравним соответствующие среднemesячные значения для температуры, вычисленные по подмножеству только наблюдаемых полных профилей $\bar{T}$ (см. табл. 3) и вычисленные по множеству всех полных профилей (включая и профили, дополненные продолженными/ проэкстраполированными значениями) T' (см. табл. 4) для тех же станций. Опять мы видим, что январские

средние температуры на высотах стратосферы, будучи вычисленными по всему множеству полных профилей ($\overline{T'}$), ниже, чем такие же температуры, вычисленные на основе только наблюдаемых значений ($\overline{T}$), по крайней мере, для трех рассматриваемых станций.

Т а б л и ц а 2

Многолетние среднемесячные значения содержания водяного пара $\overline{W'}$ (кг/м²), стандартные отклонения $\sigma_{W'}$ (кг/м²) и число полных (действительно наблюдаемых и продолженных) профилей N на изобарических поверхностях P_i для января на станциях 71082, 70026 и 04220 за период 1974 – 2003 гг.

P_i	Станция 71082			Станция 70026			Станция 04220		
	N	$\overline{W'}$	$\sigma_{W'}$	N	$\overline{W'}$	$\sigma_{W'}$	N	$\overline{W'}$	$\sigma_{W'}$
10	1452	1,883	0,859	—	—	—	—	—	—
20	1452	1,877	0,856	1697	3,578	2,019	1669	3,088	2,044
30	1452	1,875	0,855	1697	3,539	2,018	1669	3,083	2,035
50	1452	1,873	0,854	1697	3,501	2,018	1669	3,081	2,034
70	1452	1,872	0,854	1697	3,479	2,018	1669	3,079	2,033
100	1452	1,870	0,853	1697	3,455	2,019	1669	3,078	2,034
150	1452	1,866	0,852	1697	3,424	2,021	1669	3,076	2,033
200	1452	1,860	0,851	1697	3,401	2,022	1669	3,072	2,033
250	1452	1,853	0,850	1697	3,385	2,024	1669	3,068	2,032
300	1452	1,846	0,849	1697	3,371	2,024	1669	3,062	2,030
400	1452	1,817	0,840	1697	3,322	2,010	1669	3,026	2,008
500	1452	1,738	0,805	1697	3,192	1,950	1669	2,920	1,933
700	1452	1,253	0,579	1697	2,440	1,544	1669	2,301	1,499
850	1452	0,596	0,296	1697	1,331	0,896	1669	1,368	0,855

Т а б л и ц а 3

Многолетние среднемесячные значения температуры $\bar{T}$ (°C), стандартные отклонения σ_T (°C) и число действительно наблюдаемых профилей N на изобарических поверхностях P_i в январе за период 1974 – 2003 гг. для станций 71082, 70026 и 04220

P_i	Станция 71082			Станция 70026			Станция 04220		
	N	$\bar{T}$	σ_T	N	$\bar{T}$	σ_T	N	$\bar{T}$	σ_T
10	184	-56,41	12,99	49	-48,44	6,50	362	-65,22	11,81
20	299	-62,96	11,85	186	-52,33	9,15	821	-68,16	11,29
30	409	-65,60	10,38	754	-54,30	8,65	1014	-69,21	10,04
50	669	-68,19	8,77	1219	-55,70	7,87	1261	-68,32	8,86
70	1 005	-68,85	7,62	1424	-55,95	7,45	1461	-66,81	7,88
100	1 488	-67,59	6,41	1620	-55,64	6,78	1669	-64,42	6,73
150	1 715	-64,28	5,58	1699	-55,10	5,87	1747	-61,42	5,84
200	1 724	-62,63	5,51	1736	-56,03	5,96	1773	-60,66	5,86
250	1 738	-62,49	5,07	1756	-57,72	5,39	1783	-60,84	5,17
300	1 751	-60,21	3,66	1765	-56,18	3,67	1790	-58,12	4,04
400	1 771	-50,58	3,62	1787	-46,48	4,59	1792	-47,83	4,92
500	1 778	-40,87	4,37	1797	-36,66	5,57	1793	-37,89	5,58
700	1 779	-27,01	5,53	1797	-22,42	6,62	1798	-23,21	6,68
850	1 780	-24,65	6,02	1795	-17,09	7,86	1804	-16,82	7,86
925	1 758	-26,71	5,66	1796	-17,80	8,66	1790	-15,10	8,07
1 000	1 180	-30,49	5,26	1629	-22,82	7,53	699	-14,96	7,73

Т а б л и ц а 4

Многолетние среднемесячные значения температуры $\bar{T}'(^{\circ}\text{C})$, стандартные отклонения $\sigma_{T'}$ ($^{\circ}\text{C}$) и число полных (действительно наблюдаемых и продолженных/проэкстраполированных) профилей N на изобарических поверхностях P_i в январе за период 1974 – 2003 гг. для станций 71082, 70026 и 04220

P_i	Станция 71082			Станция 70026			Станция 04220		
	N	$\bar{T}'$	$\sigma_{T'}$	N	$\bar{T}'$	$\sigma_{T'}$	N	$\bar{T}'$	$\sigma_{T'}$
10	1786	-61,53	8,68	49	–	–	1815	-67,03	9,20
20	1786	-68,21	8,84	1823	-53,66	8,17	1815	-70,48	9,55
30	1786	-69,89	8,14	1823	-55,91	8,25	1815	-71,10	9,02
50	1786	-71,26	7,58	1823	-56,71	7,84	1815	-69,59	8,41
70	1786	-70,64	7,12	1823	-56,44	7,37	1815	-67,44	7,69
100	1786	-68,12	6,40	1823	-55,81	6,70	1815	-64,52	6,66
150	1786	-64,24	5,56	1823	-55,16	5,80	1815	-61,37	5,81
200	1786	-62,59	5,47	1823	-56,04	5,89	1815	-60,60	5,84
250	1786	-62,46	5,03	1823	-57,72	5,32	1815	-60,80	5,16
300	1786	-60,20	3,63	1823	-56,18	3,62	1815	-58,09	4,03
400	1786	-50,57	3,62	1823	-46,48	4,57	1815	-47,76	4,95
500	1786	-40,85	4,37	1823	-36,66	5,53	1815	-37,82	5,63
700	1786	-26,99	5,54	1823	-22,41	6,57	1815	-23,15	6,71
850	1786	-24,63	6,02	1823	-17,09	7,81	1815	-16,81	7,85
925	1786	-26,72	5,63	1823	-17,80	8,60	1815	-15,12	8,05
1000	1786	-30,63	4,84	1823	-22,76	7,40	1815	-14,68	7,27

2. Значения трендов

Заметим, что в настоящее время технология радиозондовых наблюдений изменяется во времени. Для этого может быть много неочевидных причин, например изменения в технологии

выпуска баллонов (пленочных/мембранных) или изменения некоторых косвенных критериев принятия «корректного» подъема радиозондов. Отсюда следует естественный вопрос: какой эффект эти изменения могут оказать на оценки трендов?

2.1. Сравнение трендов, определенных разными методами по наблюдаемым значениям

Прежде всего, заметим, что оценки трендов обычно делают на основе среднемесячных значений [5, 6]. Но при этом возникает вопрос о том, как эти средние были вычислены. Мы можем использовать очень жесткий критерий для отбора данных и поэтому проигнорировать много важных наблюдений и значительно уменьшить число месяцев, которые будут включены для анализа. Использование очень слабых критериев может привести к неправильным выводам о многолетней изменчивости и неправильным оценкам трендов.

Естественным решением данной проблемы, на наш взгляд, является использование оценок трендов на основе срочных наблюдений, автоматически принимая во внимание число наблюдений для каждого месяца (точечный метод) [1, 2].

Теперь давайте рассмотрим (для станций 71082, 70026 и 04420) число срочных наблюдений за температурой на изобарической поверхности 50 гПа в январе за период 1974 – 2003 гг. (см. табл. 5). Многие месяцы содержат только несколько наблюдений. При традиционном подходе к расчетам трендов необходимо сделать выбор между жестким и мягким критерием на число наблюдений при вычислении среднемесячных значений. Например, для станции 71082 мы имеем только 11 (из 30 возможных) месяцев с 30 или более наблюдениями, в то время как за 18 лет мы имеем только 1 или более наблюдений, но менее 30. При традиционном подходе следует вычеркнуть данные за эти 18 лет наблюдений для этой станции.

На рисунке 1 показаны распределения наблюдаемых значений температуры на поверхности 50 гПа в январе на станции 71082 и среднемесячных значений (при условии, что за месяц было не менее 30 наблюдений), а также соответствующие линейные тренды. В таблице 6 приведены оценки трендов, рассчитанные по среднемесячным значениям и точечным методом по подмножеству наблюдаемых значений для всех трех станций.

Т а б л и ц а 5

Число срочных наблюдений N в сроки 00 и 12 GMT на
 изобарической поверхности 50 гПа, среднемесячные значения
 температуры $\bar{T}$ (°C) и стандартные отклонения σ_T (°C) (если
 $N \geq 30$ за месяц) Январь. Станции 71082, 70026 и 04220.
 1974 – 2003 гг.

Год	Станция 71082			Станция 70026			Станция 04220		
	N	$\bar{T}$	σ_T	N	$\bar{T}$	σ_T	N	$\bar{T}$	σ_T
1974	13	–	–	13	–	–	36	–74,80	10,87
1975	18	–	–	32	–52,33	2,29	45	–58,29	6,49
1976	2	–	–	31	–62,42	4,89	32	–73,86	3,53
1977	30	–60,61	4,71	15	–	–	51	–59,65	1,72
1978	9	–	–	29	–	–	18	–	–
1979	23	–	–	43	–57,18	13,05	13	–	–
1980	8	–	–	23	–	–	12	–	–
1981	0	–	–	38	–56,72	10,13	41	–74,12	6,21
1982	21	–	–	43	–49,40	5,64	11	–	–
1983	1	–	–	45	–55,73	5,91	45	–70,40	8,79
1984	1	–	–	36	–60,87	7,00	14	–	–
1985	49	–58,08	3,95	51	–56,13	2,99	53	–58,66	3,07
1986	30	–72,66	5,60	37	–50,89	3,98	33	–69,10	6,29
1987	30	–59,11	11,62	42	–49,08	3,66	45	–61,87	3,97
1988	33	–72,54	2,94	42	–67,78	2,19	47	–65,48	1,74
1989	16	–	–	23	–	–	26	–	–
1990	20	–	–	48	–54,47	6,87	25	–	–
1991	23	–	–	47	–57,26	7,97	34	–56,73	5,05
1992	15	–	–	49	–47,78	4,29	53	–71,35	6,42
1993	6	–	–	39	–61,69	2,61	60	–71,55	4,88
1994	10	–	–	50	–50,32	3,77	59	–69,82	6,07
1995	31	–56,71	10,39	42	–52,63	4,41	59	–67,73	6,91
1996	13	–	–	40	–57,71	4,56	58	–78,60	3,00
1997	20	–	–	25	–	–	57	–73,36	1,67
1998	59	–65,50	4,70	60	–51,92	1,48	60	–68,38	9,18
1999	55	–64,92	3,11	59	–58,21	4,82	57	–63,91	6,96

Год	Станция 71082			Станция 70026			Станция 04220		
	N	T	σ_T	N	T	σ_T	N	T	σ_T
2000	12	—	—	55	-66,76	6,59	56	-77,48	3,74
2001	39	-72,24	3,84	57	-54,81	5,32	51	-68,82	6,72
2002	36	-63,67	3,53	57	-50,49	2,11	55	-60,97	4,59
2003	46	-69,85	3,67	48	-50,24	3,27	55	-70,21	4,81

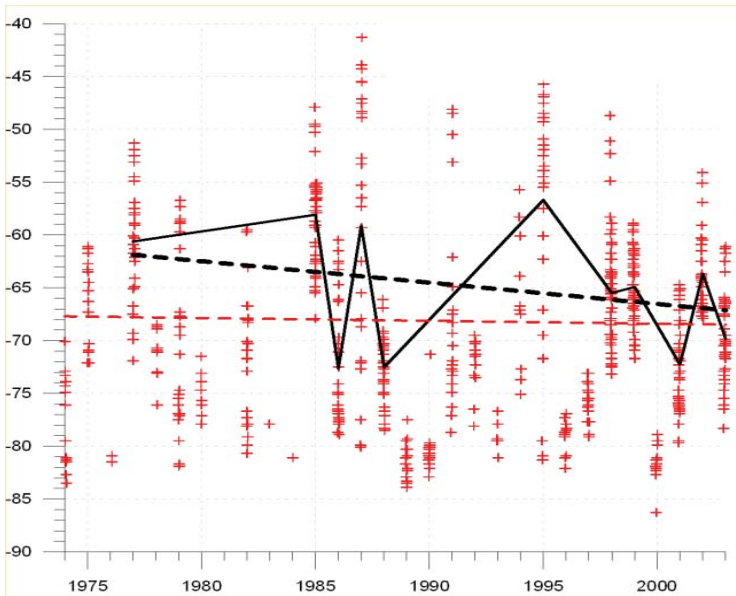


Рис. 1. Распределение значений срочных наблюдений за температурой T ($^{\circ}\text{C}$) (+) на изобарической поверхности 50 гПа (красные линии) и среднемесячных значений $\bar{T}$ ($^{\circ}\text{C}$) при условии, что за месяц было не менее 30 срочных наблюдений (черные линии), и соответствующие тренды. Станция 71082. Январь. 1974–2003 гг.

Теперь рассмотрим распределение числа наблюдений на исследуемых станциях за температурой, на изобарической поверхности 50 гПа, имеющиеся в распоряжении для января за период 1973–2003 гг.

(см. табл. 5 и рис. 2). Из таблицы и рисунка видно, что число доступных наблюдений имеет тенденцию к значительному возрастанию в течение этого периода, возможно, вследствие использования более крепких баллонов радиозондов и/или технологии зондирования.

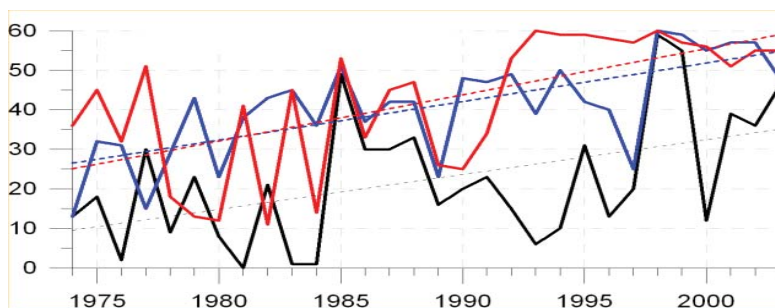


Рис. 2. Распределение числа наблюдений за температурой (в сроки 00 и 12 GMT) на поверхности 50 гПа за месяц и соответствующие тренды для станций 71082 (черные линии), 70026 (синие линии) и 04220 (красные линии). Январь 1974–2003 гг.

Т а б л и ц а 6

Оценки значений трендов ($\hat{a}$ – значение тренда °С/десятилетие, $\sqrt{D}$ – стандартное отклонение оценок $\hat{a}$,

N – число использованных среднемесячных значений с 30 или более срочными наблюдениями в течение месяца / число использованных срочных наблюдений при расчете точечным методом) для станций 71082, 70026 и 04220. 1974 – 2003 гг.

Значения	Станция 71082			Станция 70026			Станция 04220		
Средне- месячные значения	$1N$	$-2,040$	$2\sqrt{123}$	$24N$	$0,026$	$1,345$	$23N$	$-1,015$	$1,445$
Срочные значения	669	-0,257	1,798	1219	0,553	1,261	1261	-1,339	1,459

2.2. Сравнение трендов, определенных разными методами по множеству полных профилей

Таким образом, усовершенствование технологии привело к уточненному выбору холодных / влажных условий, в которых раньше баллон радиозонда преждевременно разрывался. Поэтому наши оценки трендов на основе действительно наблюдаемых данных должны будут отклоняться. Однако наша вышеприведенная техника использования продолженных / проэкстраполированных радиозондовых наблюдений может позволить решить, по крайней мере, частично эту проблему. На рисунке 3 для сравнения приведены «наблюдаемые» среднемесячные значения и среднемесячные значения, рассчитанные на основе всего множества полных профилей (с учетом и наблюдаемых и проэкстраполированных значений) для температуры для поверхности 50 гПа и соответствующие тренды, вычисленные классическим методом «по среднемесячным значениям» для станции 71082.

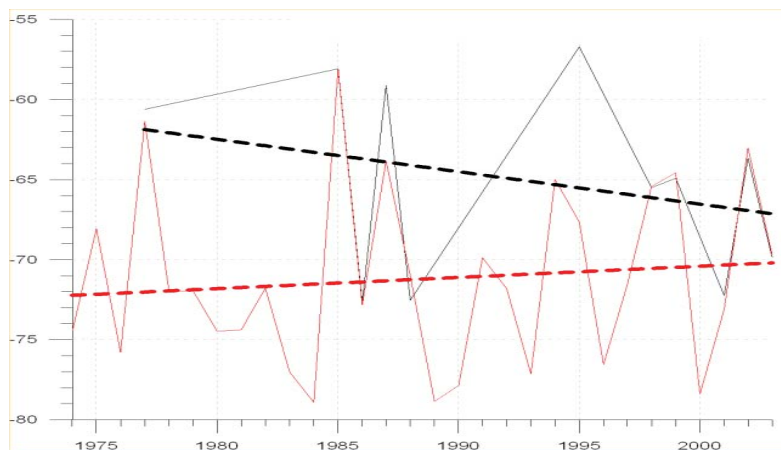


Рис. 3. Распределение «наблюдаемых» среднемесячных значений температуры (черные линии) для поверхности 50 гПа и среднемесячных значений, рассчитанных на основе всего множества полных профилей (красные линии) (если число срочных наблюдений в течение месяца не менее 30). Январь. 1974 – 2003 гг. Станция 71082.

В табл. 7 представлены оценки трендов, полученные на основе всего множества полных профилей двумя методами (точечным и классическим). Некоторые небольшие различия между этими оценками объясняются оставшимися нечеткими распределениями полных радиозондовых профилей (см. табл. 8).

Т а б л и ц а 7

Оценки трендов, полученные на основе всего множества полных профилей T двумя методами (точечным и классическим). $\hat{a}$ – значение тренда $^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$), $\sqrt{D}$ – стандартное отклонение оценок $\hat{a}$, N – число использованных среднемесячных значений с 30 или более наблюдаемыми / проэкстраполированными значениями в течение месяца или число срочных наблюдений / проэкстраполированных значений температуры на поверхности 50 гПа.

Станции 71082, 70026 и 04220

Значения	Станция 71082			Станция 70026			Станция 04220		
	N	$\hat{a}$	$\sqrt{D}$	N	$\hat{a}$	$\sqrt{D}$	N	$\hat{a}$	$\sqrt{D}$
Средне- месячные значения	30	0,708	1,161	30	0,941	1,049	30	-0,117	1,074
Срочные значения	1 786	0,826	1,460	1 800	0,909	1,162	1 814	-0,089	1,321

Т а б л и ц а 8

Число полных профилей N температуры для изобарической поверхности 50 гПа в сроки 00 и 12 GMT, среднемесячные значения $\bar{T}$ ($^{\circ}\text{C}$) и стандартные отклонения σ_T ($^{\circ}\text{C}$).

Станции 71082, 70026 и 04220. Январь. 1974 – 2003 гг.

Год	Станция 71082			Станция 70026			Станция 04220		
	N	$\bar{T}$	σ_T	N	$\bar{T}$	σ_T	N	$\bar{T}$	σ_T
1974	62	-74,42	4,32	42	-57,42	5,41	60	-74,78	3,65
1975	57	-68,06	3,03	56	-51,29	4,37	60	-61,64	8,20
1976	60	-75,79	2,91	61	-64,09	5,66	62	-74,61	3,59
1977	48	-61,35	5,17	60	-51,27	3,40	61	-59,84	5,91
1978	59	-71,99	3,07	56	-54,16	4,51	59	-71,94	4,30

Окончание табл. 8

Год	Станция 71082			Станция 70026			Станция 04220		
	N	$\bar{T}$	σ_T	N	$\bar{T}$	σ_T	N	$\bar{T}$	σ_T
1979	62	-71,97	6,76	61	-57,03	12,99	58	-69,11	4,72
1980	61	-74,47	4,46	57	-59,84	5,04	60	-71,60	7,34
1981	58	-74,38	3,20	60	-58,79	9,68	58	-73,68	2,99
1982	60	-71,79	4,60	62	-51,22	7,68	61	-67,61	6,93
1983	59	-77,03	3,47	62	-55,94	8,29	61	-71,48	8,50
1984	59	-78,91	2,83	62	-59,88	6,80	56	-77,98	3,11
1985	56	-58,14	4,56	62	-54,80	4,24	62	-60,30	7,26
1986	61	-72,83	4,15	61	-51,63	5,47	62	-70,22	6,83
1987	61	-63,84	12,63	60	-49,15	4,02	62	-64,09	12,30
1988	62	-71,00	3,78	62	-65,31	4,58	60	-66,34	4,00
1989	62	-78,86	2,65	61	-61,98	7,69	62	-72,37	4,59
1990	62	-77,85	2,91	62	-53,23	6,74	63	-75,71	3,40
1991	57	-69,88	6,40	61	-57,60	10,45	62	-64,81	10,97
1992	57	-71,81	2,09	61	-47,88	5,39	62	-71,25	4,02
1993	62	-77,13	1,93	62	-60,70	2,94	61	-71,40	6,22
1994	62	-64,99	4,58	62	-50,56	4,86	61	-70,04	7,07
1995	62	-67,66	12,91	62	-51,53	5,31	61	-68,10	13,24
1996	61	-76,55	2,42	62	-58,23	5,07	61	-78,52	2,32
1997	59	-71,56	4,12	61	-57,66	5,28	61	-73,07	3,06
1998	62	-65,44	4,63	62	-52,18	3,12	60	-68,38	7,51
1999	61	-64,58	3,22	63	-60,05	3,96	60	-63,92	4,12
2000	57	-78,40	2,42	61	-66,87	7,89	59	-77,24	2,63
2001	61	-73,10	3,56	61	-55,62	6,14	62	-68,81	5,40
2002	58	-63,03	3,72	59	-51,17	3,01	61	-61,28	6,20
2003	58	-69,72	3,93	56	-50,19	4,30	56	-70,21	4,41

Выводы

Наши «новые» оценки средних значений параметров свободной атмосферы и трендов (с помощью классического или точечного метода) на основе полных профилей радиозондирования (наблю-

денных или проэкстраполированных по высоте) решают некоторые неявные проблемы, возникающие при традиционных подходах.

Данное исследование поддержано подпрограммой «Определение изменений в окружающей среде Антарктики в условиях меняющегося климата» Федеральной целевой программы «Мировой океан» и проектом РФФИ № 07-05-00264.

Литература

1. Алдухов О. А., Черных И. В. О климатических изменениях температурно-влажностного режима в тропосфере над Антарктическим полуостровом // Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2008. – Вып. 173. – С. 270–294.
2. Алдухов О. А., Лагун В. Е., Черных И. В., Яговкина С. В. Об изменении климата в тропосфере над Антарктическим полуостровом // *Problemy Klimatologii Polarniej*. – 2006. – Vol. 16. – P. 7–22.
3. Гандин Л. С., Каган Р. Л. Статистические методы интерполяции метеорологических данных. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 356 с.
4. Зайцева Н. А. Аэрология. // Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 325 с.
5. Стерин, А. М. О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по радиозондовым данным. Часть 1: Выбор массива данных, периода рядов и техники их анализа // *Метеорология и гидрология*. – 2004. – № 5. – С. 21–36.
6. Стерин, А. М. О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по радиозондовым данным. Часть 2: Обнаружение неоднородностей в рядах месячного разрешения // *Метеорология и гидрология*. – 2004. – № 6. – С. 5–22.
7. Alduchov O. A., Eskridge R. E. Improved Magnus' form approximation of saturation vapor pressure // *J. Appl. Meteorol.* – 1996. – Vol. 35, № 4. – P. 601–609.
8. Alduchov O. A., Eskridge R. E. Complex quality control of upper air parameters at mandatory and significant levels for the CARDS dataset // Asheville, NC. NCDC Report. – 1996. – 135 p.
9. Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V., Zhai P., Doty S. R., Polansky A. C. A Comprehensive Aerological Reference Data Set (CARDS): Rough and systematic errors // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* – 1995. – Vol. 76, № 10. – P. 1959–1775.

И.В. Черных, О.А. Алдухов

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА В ТРОПОСФЕРЕ НАД АНТАРКТИКОЙ ПО ДАННЫМ РОССИЙСКИХ СТАНЦИЙ

Введение

В настоящее время возрастает актуальность количественного исследования климатической изменчивости основных метеопараметров в атмосфере над полярными регионами, в частности над Антарктикой. В данной работе приведены оценки долгопериодных изменений температуры и влажности в тропосфере, полученные на основе данных действующих российских аэрологических станций Новолазаревская и Мирный. Оценки трендов получены с помощью точечного метода [1, 2] для различных временных масштабов: месяцев, сезонов и за год на основе массива КАРДС [9].

Анализ изменения температурно-влажностного режима в атмосфере над Антарктическим полуостровом, расположенным в западной части Антарктики, был представлен в работе [1]. Данное исследование проведено для уточнения особенностей изменения температурно-влажностного режима в тропосфере по данным стандартного радиозондирования атмосферы над восточной частью Антарктиды.

Данные и метод

Для исследования климатических изменений температуры (T) и содержания водяного пара в столбе воздуха (VA) в Антарктической тропосфере получены оценки трендов данных характеристик на стандартных изобарических поверхностях. Расчеты выполнены на основе данных стандартного радиозондирования атмосферы, проводимого на действующих российских аэрологических станциях Новолазаревская ($70,77^\circ$ ю.ш., $11,83^\circ$ в.д.) и Мирный ($66,58^\circ$ ю.ш., $93,02^\circ$ в.д.), расположенных на высотах 135 и 53 м над уровнем подстилающей поверхности соответственно. Для расчетов использованы данные проконтролированного глобального массива радиозондовых наблюдений КАРДС [8, 9]. Период наблюдения для станции Новолазаревская соста-

вил 39 лет, с 1969 по 09.2007 г. и для станции Мирный – 26 лет, с 1982 по 09.2007 г. Всего было обработано для станции Новолазаревская 11 209 радиозондирований, из которых 9 859 было проведено в сроки 00 GMT и 1 350 – в 12 GMT. Для станции Мирный число использованных наблюдений составило 9 754, из которых 7 507 было проведено в 00 GMT (соответствует 06 ч локального времени) и 2 247 – в 12 GMT.

Особенностью аэрологической информации, особенно о влажности, является ее неоднородность по высоте [3, 4, 5]. В таблице 1 приведено число наблюдений за влажностью на изобарических поверхностях 850, 500 и 300 гПа, использованных в исследованиях для различных месяцев. Она демонстрирует особенности неоднородности наблюдений за влажностью на антарктических станциях. Из ее данных видно, что число наблюдений за влажностью убывает с высотой, особенно в холодные месяцы. Некоторые проблемы анализа данных о влажности, полученных при стандартном радиозондировании атмосферы, и возможные пути их решения обсуждаются в работе [3].

Заметим, что выбранная характеристика влажности, содержание водяного пара в столбе воздуха, характеризует абсолютное содержание влаги в столбе воздуха от уровня земли до соответствующей изобарической поверхности и является интегральным

Т а б л и ц а 1

Число наблюдений за влажностью на стандартных
изобарических поверхностях 850, 500, 300 гПа
для различных месяцев

Уровень (гПа)	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Новолазаревская												
300	849	836	810	757	775	705	776	798	759	791	859	848
500	853	838	819	777	796	737	828	847	788	809	902	878
850	857	846	818	780	803	770	860	869	805	833	912	881
Мирный												
300	887	904	740	698	717	670	716	720	645	729	684	714
500	892	930	767	726	747	705	745	753	673	757	725	730
850	895	937	773	731	753	706	755	763	679	762	726	734

параметром по высоте. Она была рассчитана по формуле Магнуса на основе данных о температуре и дефиците точки росы, содержащихся в исходном массиве [7].

Оценки трендов получены с помощью точечного метода, основанного на использовании временных рядов срочных наблюдений с учетом возможных корреляций результатов наблюдений во времени [1, 2] для различных месяцев, сезонов и за год.

Для визуализации изменений средних значений и трендов с высотой была использована линейная интерполяция соответствующих значений, рассчитанных для изобарических поверхностей.

Результаты

Ниже проанализированы тренды для года в целом, а также для меньших масштабов времени: сезонов и месяцев – показаны особенности сезонной и внутригодовой изменчивости трендов для аномалий температуры и влажности на различных высотах в тропосфере.

На рисунках 1 и 2 показано распределение многолетних средних значений температуры (рис. 1а) и содержания водяного пара в столбе воздуха (рис. 2а) на стандартных изобарических поверхностях для различных месяцев, сезонов и за год, а также трендов аномалий от соответствующих многолетних средних значений. Вследствие непрерывности климатических изменений в атмосфере на рисунках представлены все определенные тренды (с различной значимостью), тренды со значимостью не менее 50% и тренды со значимостью не менее 95% соответственно.

В таблице 2 приведены значения линейных трендов аномалий температуры T и содержания водяного пара в столбе воздуха на стандартных изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа, вычисленные с помощью точечного метода для различных сезонов.

Таблица 2 и рис. 1 и 2 показывают, что климатические изменения в тропосфере определены на разных уровнях значимости и неоднородны в пространстве и во времени.

Их анализ показал, что для зимы (ДЯФ*) над станцией Новолазаревская определено небольшое похолодание в средней ($-0,1$ °C/десятилетие) и верхней ($-0,26$ °C/десятилетие) тропосфере, а также увеличение содержания водяного пара, а над станцией Мирный в верхней тропосфере – слабое потепление ($0,23$ °C/десятилетие).

*ДЯФ – декабрь, январь, февраль.

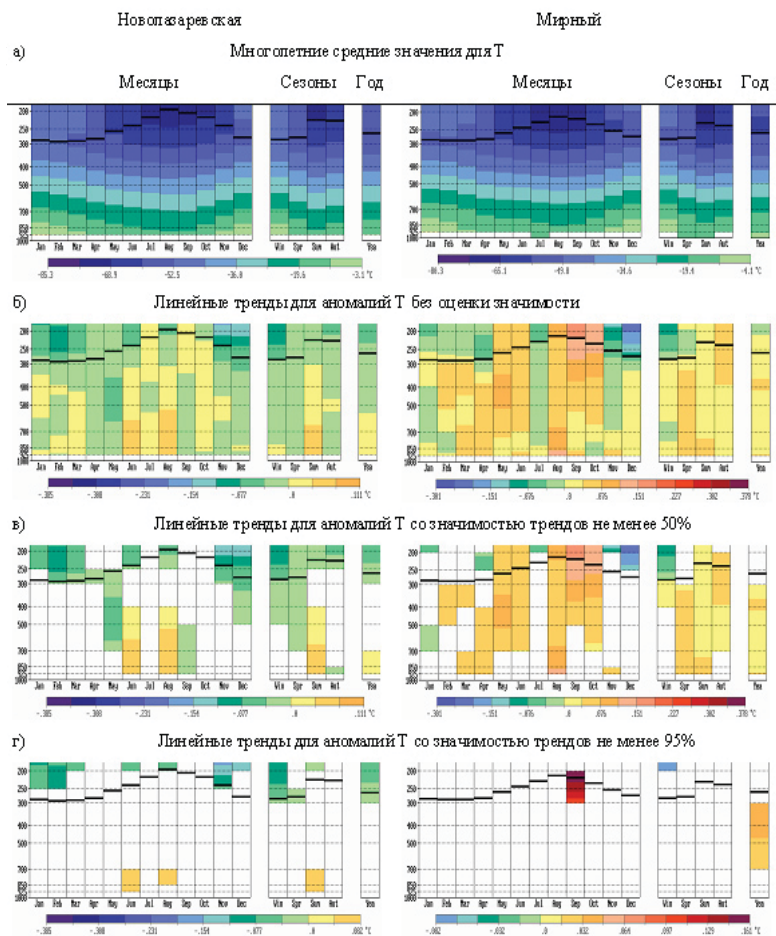


Рис. 1. Многолетние средние значения температуры (а) и линейные тренды аномалий температуры T (°C/год) на изобарических поверхностях, вычисленные с помощью точечного метода, для различных месяцев (слева), сезонов (в центре) и для года (справа) без оценки значимости (б), со значимостью трендов не менее 50 % (в) и не менее 95 % (г). Черной линией отмечена тропопауза. Левый столбец – Новолазаревская (1969 – 09.2007 гг.), правый столбец – Мирный (1982 – 09.2007 гг.). КАРДС.

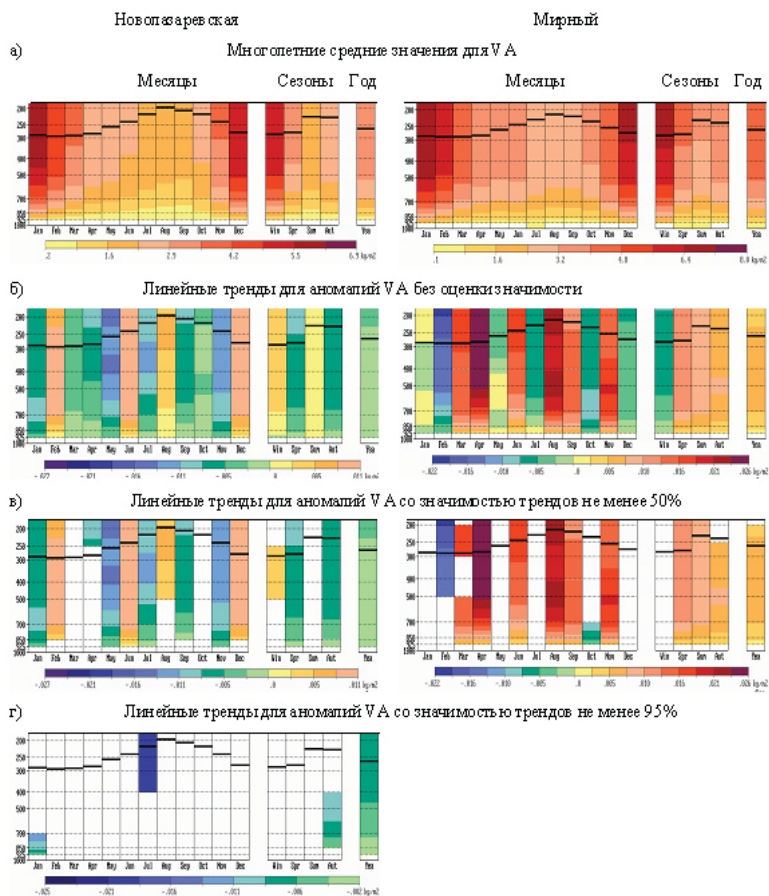


Рис. 2. Многолетние средние значения ($\text{кг}/\text{м}^2$) содержания водяного пара в столбе воздуха VA (а) и линейные тренды во временных рядах аномалий VA ($\text{кг}/\text{м}^2/\text{год}$) на изобарических поверхностях, вычисленные с помощью точечного метода для различных месяцев (слева), сезонов (в центре) и года (справа) без оценки значимости (б), со значимостью трендов не менее 50 % (в) и не менее 95 % (г). Черной линией отмечена тропопауза. Левый столбец – Новолазаревская (1969 – 09.2007 гг.), правый столбец – Мирный (1982 – 09.2007 гг.). КАРДС.

Т а б л и ц а 2

Линейные тренды аномалий температуры T ($^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$) и содержания водяного пара в столбе воздуха $VA \times 10$ ($\text{кг}/\text{м}^2/\text{десятилетие}$) на стандартных изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа, вычисленные с помощью точечного метода для различных сезонов.

Метео- пара- метр	Зима			Весна			Лето			Осень		
	Стандартные изобарические поверхности, гПа											
	500	700	850	500	700	850	500	700	850	500	700	850
Новолазаревская												
T	-0,1	–	–	-0,2	-0,1	–	0,2	0,5	0,4	–	–	-0,1
VA	0,4	–	–	-0,7	-0,5	-0,3	–	–	–	-0,7	-0,5	-0,2
Мирный												
T	–	–	–	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	–
VA	–	–	–	1,3	1,0	0,6	1,0	0,8	0,5	0,9	0,7	0,4

П р и м е ч а н и е . Тренды со значимостью 99% отмечены курсивом. Значимость остальных трендов не менее 50 %

Как показывает таблица 1, увеличение VA над станцией Новолазаревская на уровне 500 гПа составляет $0,04 \text{ кг}/\text{м}^2/\text{десятилетие}$.

Для весны (МAM*) над станцией Новолазаревская определено похолодание в средней тропосфере совместно с уменьшением содержания водяного пара. Для уровня 500 гПа эти изменения составляют $-0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ и $-0,07 \text{ кг}/\text{м}^2/\text{десятилетие}$. Над станцией Мирный определено потепление, которое увеличивается с высотой от $0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ на уровне 850 гПа до $0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ к уровню 400 гПа, и увеличение содержания водяного пара, которое на уровне 500 гПа составляет $0,13 \text{ кг}/\text{м}^2/\text{десятилетие}$.

Для лета (ИИА**) в тропосфере зафиксировано потепление для обеих станций. Над Новолазаревской оно уменьшается с высотой от $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ на уровне 700 гПа до $0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ на уровне 400 гПа. При этом притока влаги во всей толще тропосферы не зафиксировано, что может привести к уменьшению облачности всех ярусов. Над станцией Мирный потепление в слое тропосферы выше 850 гПа составляет примерно $0,4 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ на всех высотах. Для станции Мирный также отмечено небольшое увеличение содержания водяного пара в столбе воздуха в нижней

*МAM – март, апрель, май.

ИИА – июнь, июль, август.

(0,05 кг/м²/десятилетие) и средней (0,1 кг/м²/десятилетие) тропосфере. В верхней тропосфере величина тренда также составляет 0,1 кг/м²/десятилетие, что позволяет сделать вывод, что притока влаги в ней не происходит, т. к. содержание водяного пара в столбе воздуха является интегральным параметром по высоте. То есть над станцией Мирный местной зимой возможно уменьшение верхней облачности.

Для осени (СОН*) над станцией Новолазаревская определено похолодание в нижней тропосфере и небольшое уменьшение содержания водяного пара в столбе воздуха во всей тропосфере. На уровне 850 гПа эти изменения составляют -0,1 °С/десятилетие и -0,02 кг/м²/десятилетие, изменение VA для уровня 500 гПа составляет -0,07 кг/м²/десятилетие. Над станцией Мирный зафиксировано потепление выше уровня 850 гПа, величина которого возрастает с высотой от 0,2 °С/десятилетие на уровне 500 гПа до 0,6 °С/десятилетие на уровне 300 гПа, и увеличение содержания водяного пара во всей тропосфере. Для уровня 500 гПа увеличение VA составляет 0,09 кг/м²/десятилетие. В верхней тропосфере величина тренда составляет 0,07 кг/м²/десятилетие.

В таблице 3 приведены значения линейных трендов аномалий температуры и содержания водяного пара в столбе воздуха на стандартных изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа, вычисленные с помощью точечного метода для отдельных месяцев (января, июня, сентября) и за год.

Таблица 3, рис. 1 и 2 показывают, что за многолетний год над станцией Новолазаревская зафиксировано слабое потепление (0,1 °С/десятилетие) в нижней и похолодание (-0,1 °С/десятилетие) в верхней тропосфере, а также уменьшение содержания водяного пара в столбе воздуха во всей толще тропосферы, на уровне 500 гПа оно составляет -0,02 кг/м²/десятилетие. Над станцией Мирный определено потепление (0,3-0,4 °С/десятилетие) и увеличение содержания водяного пара в столбе воздуха во всей толще тропосферы, для поверхности 500 гПа оно составляет 0,06 кг/м²/десятилетие.

За многолетний январь над станцией Новолазаревская на всех изобарических поверхностях в тропосфере определено убывание VA со скоростью около -0,1 кг/м²/десятилетие. При этом изменений температуры на уровне значимости выше 50 % не определено. Над станцией Мирный отмечено похолодание в средней тропосфере, которое усиливается с высотой от -0,2 °С/десятилетие на уровне

*СОН– сентябрь, октябрь, ноябрь.

Т а б л и ц а 3

Линейные тренды аномалий температуры T ($^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$) и содержания водяного пара в столбе воздуха $VA \times 10$ ($\text{кг}/\text{м}^2/\text{десятилетие}$) на стандартных изобарических поверхностях 850, 700, 500 гПа, вычисленные с помощью точечного метода для января, июня, сентября и за год.

Метео- пара- метр	Январь			Июнь			Сентябрь			Год		
	Стандартные изобарические поверхности, гПа											
	500	700	850	500	700	850	500	700	850	500	700	850
Новолазаревская												
T	–	–	–	0,3	0,5	0,6	-0,2	-0,2	-0,2	–	0,1	0,1
VA	-0,8	-0,9	-0,6	0,9	0,9	0,4	-0,7	-0,4	-0,1	-0,2	-0,1	-0,1
Мирный												
T	-0,4	-0,2	–	0,7	0,4	–	0,4	–	–	0,3	0,2	0,3
VA	–	–	–	1,4	1,0	0,6	1,4	1,3	1,0	0,6	0,5	0,3

П р и м е ч а н и е . Тренды со значимостью 99 % отмечены курсивом. Значимость остальных трендов не менее 50 %

700 гПа до $-0,4^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ на уровне 500 гПа. При этом изменений VA на уровне значимости выше 50 % не определено.

За многолетний июнь над обеими станциями определено потепление в тропосфере и увеличение содержания водяного пара в столбе воздуха. Потепление в тропосфере над станцией Новолазаревская ослабевает с высотой от $0,6^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ на уровне 850 гПа до $0,2^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ на уровне 400 гПа. Скорость увеличения VA наиболее значительна в средней тропосфере: на уровнях 700 и 500 гПа она составляет $0,09 \text{ кг}/\text{м}^2/\text{десятилетие}$. Для станции Мирный потепление усиливается от $0,4^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ на уровне 700 гПа до $0,7^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ на уровне 500 гПа и затем немного уменьшается до $0,5^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$ на уровне 300 гПа. Содержание водяного пара в столбе воздуха монотонно возрастает, и в верхней тропосфере на уровне 300 гПа скорость его изменения составляет $0,16 \text{ кг}/\text{м}^2/\text{десятилетие}$.

За многолетний сентябрь расчеты показывают похолодание ($-0,2^{\circ}\text{C}/\text{десятилетие}$) в слое тропосферы 850 – 500 гПа над станцией Новолазаревская и уменьшение VA , величина которого возрастает от $-0,01 \text{ кг}/\text{м}^2/\text{десятилетие}$ на уровне 850 гПа до $-0,07 \text{ кг}/\text{м}^2/\text{десятилетие}$ на уровне 300 гПа. Для станции Мир-

ный потепление в тропосфере на уровне значимости более 50 % определено выше уровня 500 гПа, на котором оно составляет 0,4 °C/десятилетие. По мере увеличения высоты оно возрастает и на уровне 300 гПа составляет 1,0 °C/десятилетие (уровень значимости тренда 95 %). При этом определено также увеличение VA с максимальным значением декадных изменений (0,14 кг/м²/десятилетие) на уровне 500 гПа.

Выводы

В тропосфере над Антарктическим регионом на основе данных массива КАРДС с помощью точечного метода (на уровне значимости не ниже 50 %) для станций Новолазаревская (1969–09.2007 гг.) и Мирный (1982–09.2007 гг.) определены следующие климатические изменения.

За многолетний год для станции Новолазаревская зафиксировано слабое потепление в нижней и похолодание в верхней тропосфере, а также уменьшение содержания водяного пара в столбе воздуха во всей толще тропосферы; для станции Мирный определено слабое потепление и увеличение содержания водяного пара в столбе воздуха во всей толще тропосферы.

Для зимы (австралийского лета) в средней и верхней тропосфере над станцией Новолазаревская определено небольшое похолодание и увеличение содержания водяного пара, а над станцией Мирный в верхней тропосфере – слабое потепление.

Для весны (австралийской осени) над станцией Новолазаревская определено похолодание и уменьшение содержания водяного пара в средней и верхней тропосфере; над станцией Мирный во всей толще тропосферы зафиксировано потепление и увеличение содержания водяного пара.

Для лета (австралийской зимы) в тропосфере зафиксировано потепление над обеими станциями; над станцией Мирный также отмечено небольшое увеличение содержания водяного пара в столбе воздуха в нижней и средней тропосфере.

Для осени (австралийской весны) над станцией Новолазаревская определено похолодание в нижней тропосфере и небольшое уменьшение содержания водяного пара в столбе воздуха во всей тропосфере, над станцией Мирный – потепление и увеличение содержания водяного пара во всей тропосфере.

Результаты могут быть использованы при анализе климатических изменений температуры, влажности, параметров температурно-влажностного расслоения атмосферы и облачности, количества осадков в Антарктическом регионе.

Данное исследование поддержано подпрограммой «Определение изменений в окружающей среде Антарктики в условиях меняющегося климата» Федеральной целевой программы «Мировой океан».

Литература

1. Алдухов О. А., Черных И. В. О климатических изменениях температурно-влажностного режима в тропосфере над Антарктическим полуостровом // Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2008. – Вып. 173. – С. 270–294.
2. Алдухов О. А., Лагун В. Е., Черных И. В., Яговкина С. В. Об изменении климата в тропосфере над Антарктическим полуостровом // Problemy Klimatologii Polarniej. – 2006. – Vol. 16. P. 7–22.
3. Алдухов О. А., Черных И. В. Метод восстановления профилей температуры и влажности в данных радиозондовых наблюдений // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2009. – Вып. 175. – (В печати).
4. Зайцева Н. А. Аэрология // Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 325 с.
5. Стерин, А. М. О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по радиозондовым данным. Часть I: Выбор массива данных, периода рядов и техники их анализа // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 5. – С. 21–36.
6. Черных И. В., Алдухов О. А., Оржеховская В. А. Мониторинг температуры атмосферы над полярными регионами России за 2007–2008 годы. // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2010. – Вып. 175. – С. 159–173.
7. Alduchov O. A., Eskridge R. E. Improved Magnus' form approximation of saturation vapor pressure // J. Appl. Meteorol. – 1996. – Vol. 35, № 4. – P. 601–609.
8. Alduchov O. A., Eskridge R. E. Complex quality control of upper air parameters at mandatory and significant levels for the CARDS dataset // Asheville, NC. NCDC Report. – 1996. – 135 p.
9. Eskridge R. E., Alduchov O. A., Chernykh I. V., Zhai P., Doty S. R., Polansky A. C. A Comprehensive Aerological Reference Data Set (CARDS): Rough and systematic errors // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1995. – Vol. 76, № 10. – P. 1959–1775.

*В.А. Семёнов, И.В. Семёнова,
Р.А. Аванесян, Т.И. Дегтяренко*

ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОПАСНЫХ И НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА РЕКАХ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ

Территория России в её значительной восточной и южной частях, а также на Урале, представляет собой гористую (с высотами 500–1000 м) и горную местность (с высотами от 1 000 до 5 600 м). Многие горные районы имеют современное оледенение, особенно мощное в горах Кавказа, Алтая и Камчатки. Их орографические особенности в сочетании с разной степенью континентальности регионов России являются важнейшими причинами разных особенностей изменения климатических факторов, влияющих на изменения стока рек и повторяемость опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках [3].

В «Оценочном докладе об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации»[2] отмечалось, что среди неблагоприятных последствий современных изменений климата выделяются изменения опасных наводнений, наиболее характерные для горных и предгорных районов юга территории России. Накопленные сведения об опасных гидрологических явлениях с зафиксированным ущербом от их последствий позволили произвести дифференцированный пространственно-временной анализ направленности изменений опасных наводнений, паводков, а также селевых потоков в горах за период 1991–2008 гг. При этом основное внимание было уделено изменениям с начала текущего столетия.

Опасные наводнения и паводки, сели в горах. Анализ изменения по годам опасных гидрологических явлений на реках за 18-летний период свидетельствуют о том, что в соответствии с изменениями максимальных расходов воды происходило увеличение повторяемости высоких наводнений и паводков, наносящих зафиксированный ущерб, преимущественно на реках горных и предгорных районов России [4]. Кроме того, в горных районах происходило увеличение повторяемости опасных, приносящих большой ущерб, селевых потоков (рис. 1).

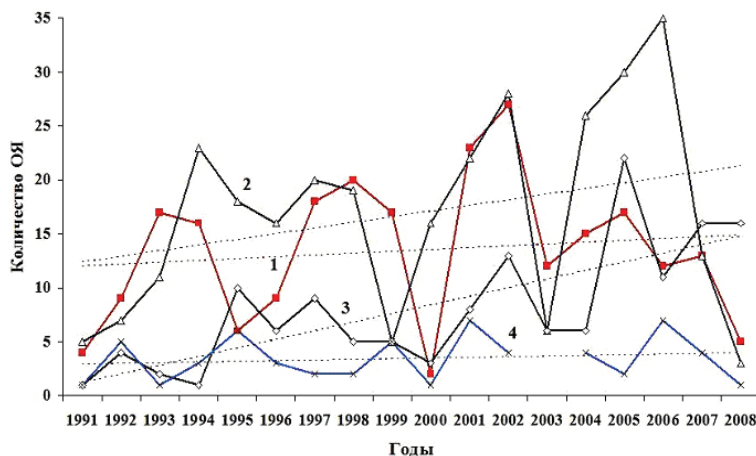


Рис.1. Изменение повторяемости опасных наводнений во время половодья (1), при паводках (2), селевых потоках (3) и ледовых заторах (4) с ущербом за 1991–2008 гг.

В первые годы XXI столетия наибольший рост гидрологических опасностей возникал тоже в горах при дождевых паводках и селевых потоках. Наиболее выраженное увеличение их количества отмечалось на реках Северного Кавказа (бассейны Кубани, Терека). Из 144 случаев прохождения селей, причинивших ущерб населению страны за период 1991–2008 гг., 130 было на Северном Кавказе, 5 в Восточной Сибири и 4 на Дальнем Востоке. За 2001–2008 гг. по сравнению с 1991–2000 гг. количество случаев с зафиксированным ущербом от селевых потоков в РФ увеличилось в 2 раза. За 18 лет в бассейне Кубани было также более 40 паводков с зафиксированным ущербом (табл.1).

На реках Урала, Предуралья и Зауралья было 44 случая опасных наводнений и 15 паводков с зафиксированным ущербом.

В Сибири наибольшее увеличение продолжительности наводнений с учтенным ущербом в последнем десятилетии было на горных реках Республики Алтай, Алтайского края и Кемеровской области (табл.2). Из 80 случаев опасных наводнений и паводков с зафиксированным ущербом в Западно-Сибирском регионе за период 1991–2008 гг. 70 % приходится на горные и предгорные районы Алтая и Западных Саян (при средней продолжительности одного опасного наводнения на территории России 5 суток, в горных и предгорных районах Алтая – 7 суток).

Т а б л и ц а 1
Изменение суммарной за год продолжительности (сут) высоких опасных паводков на реках Северного Кавказа в пределах территорий субъектов Федерации

Название субъекта	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Республика Адыгея		7						3	1			11	1	6	2			
Республика Дагестан		7				2	7					22	1		9	2	2	
Республика Ингушетия		7									6	13						
Кабардино-Балкарская Республика		7			3							8			1	92		
Караево-Черкесская Республика		7				1	2	2				11	1	14		4	3	
Краснодарский край	2	8			6	4	4	4		1	9	26	1	23	5	8	3	1
Республика Северная Осетия – Алания		9			3			3			2	12			32			
Ставропольский край		13	1			5		2				11		4				
Чеченская Республика		7					1					13		9	36	5		

Т а б л и ц а 2

Изменение суммарной за год продолжительности (сут) высоких опасных наводнений в половодье на реках, формирующих сток в горах Алтая и Саян в пределах территорий субъектов Федерации

Название субъекта	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Республика Алтай												1		19		
Алтайский край	1	36	1	10	3	8	1	3	34	2	2	1	5	41	1	
Иркутская обл.									10	1			9			
Кемеровская обл.	1						2	2	27	2	2	1	5	17	17	1
Красноярский край	1			1		19		12	15	25	5	12	11	11		
Республика Тыва	4	3							1			11				
Республика Хакасия											3	11		1		

В периоды выпадения ливневых осадков участились случаи формирования высоких паводков и селей. Поэтому на территорию Верхней Оби приходится более 30 случаев высоких паводков с зафиксированным ущербом (табл.3). Наибольшее увеличение их суммарной продолжительности характерно тоже для рек, формирующих сток в горах юга Западной Сибири (Алтай, Западные отроги Саян). В то же время на реках преимущественно горных районов Забайкалья (Забайкальский край, Республика Бурятия) наблюдалось уменьшение повторяемости и продолжительности опасных дождевых паводков (табл.3).

На Дальнем Востоке наибольший ущерб нанесен увеличением количества опасных дождевых паводков в Приморье (45 случаев) в результате возрастания интенсивности выпадения осадков преимущественно в гористой части территории (хр. Сихотэ-Алинь), тогда как на верхнюю и среднюю части бассейна Амура приходится 25 случаев зафиксированного ущерба (табл.4).

Тенденция увеличения суммарной продолжительности паводков в начавшемся столетии характерна также для рек гористых территорий бассейнов Лены, Камчатки и Сахалина. Увеличение повторяемости опасных паводков на гористой территории Якутии, вероятно, является следствием увеличения повторяемости ливневых осадков и деградации многолетней мерзлоты.

Климатические изменения формирования стока в горах Алтая и Западных Саян. Перечисленные обстоятельства обуславливают необходимость исследования причин наиболее выраженных климатически обусловленных изменений опасных, а также неблагоприятных гидрологических явлений на реках горных и предгорных территорий России. Для такого анализа использованы горные и предгорные районы Алтая и частично Западных Саян в пределах бассейна Верхней Оби, отличающиеся сложностью орографии, неплохой гидрометеорологической изученностью и повышенной повторяемостью опасных наводнений и паводков за последние годы.

Известно, что важную роль в формировании климата играют общециркуляционные процессы и их изменение оказывает влияние на основные климатические факторы стока – количественное и сезонное распределение осадков и температуру воздуха.

Т а б л и ц а 3
Изменения суммарной за год продолжительности (сут) высоких опасных паводков на реках, формирующих
сток в горах юга Сибири за 1991–2007 гг. в пределах территорий субъектов Федерации

Название субъекта	1991	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Республика Алтай			4					5					17	1	22	
Алтайский край			1	14				5			3		17	10	43	18
Республика Бурятия	2	29	7	2			6								2	
Иркутская обл.			2		3					4	5			2	20	
Кемеровская обл.								5					17		22	20
Республика Тыва						2			5			1			20	
Забайкальский край	2	28	1		2		28		5	2			1		1	

Т а б л и ц а 4
Изменение суммарной за год продолжительности (сут) высоких опасных паводков на реках территории
субъектов Федерации Дальнего Востока за 1991–2008 гг.

азвание субъекта	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Амурская обл.						2					7				10	1	17
Еврейская авто- номная область								2			23				1	3	
Камчатский край						9	4					2		3	5		
Приморский край	9	9	6	35		12	4		3	56	12	10		7	6	2	1
Сахалинская обл.			6		3		1		2	2		1			21	1	
Хабаровский край	2		3	1		2	10				2		10		12	23	2
Якутия				2							1			16	6	20	

В Горном Алтае и в Западных Саянах в зимний период наибольшую повторяемость погоды обуславливает Азиатский антициклон, гребень которого охватывает юг его территории, где над межгорными котловинами скапливается очень охлажденный воздух и выпадает малое количество осадков, а над остальной территорией устанавливается умеренно холодная погода, и при слабом развитии восточных антициклонов развивается активная циклоническая деятельность с обильными снегопадами. Но развитие Азиатского антициклона иногда допускает возникновение циклонов и в Юго-Восточном Алтае. Особенностью летних сезонов является более устойчивый, чем в другие сезоны, температурный режим воздуха и различия в температурном режиме и распределении осадков летом определяются, главным образом, высотой над уровнем моря, орографией местности, но важную роль играет и господствующий тип общей циркуляции [5]. В переходные сезоны частое чередование холодных воздушных масс с севера и теплых с юга (коэффициент изменчивости более 50 %) обуславливает возможность выпадения обильных осадков.

Территориальное распределение осадков по бассейнам рек Горного Алтая зависит от орографии и крайне неравномерно. Наиболее увлажнены наветренные западные районы, где годовая сумма осадков 1 000–1 500 мм, на подветренных восточных склонах она составляет 200 – 400 мм, а в межгорных котловинах Юго-Восточного Алтая зимой, с ноября по март, выпадает не более 20–30 мм осадков.

При современных изменениях климата за 55-летний период наблюдений в Горном Алтае отмечалось значительное потепление с положительным трендом высокой обеспеченности, а наибольшая интенсивность потепления наблюдалась в зимний и весенний периоды [5, 6]. В период 1976–2006 гг. весной температура воздуха повышалась с интенсивностью 0,6 – 0,8 °C за 10 лет, а за зимние периоды повышение температуры происходило с интенсивностью 0,1 – 0,4 °C за 10 лет.

Годовая сумма осадков с 1976 по 2006 год в горах Алтая тоже увеличивалась с интенсивностью 10–20 мм за 10 лет, но увеличение происходило в теплый период года (апрель–сентябрь), а в зимний период преобладало даже некоторое уменьшение осадков и, следовательно, запасов воды к началу весеннего снеготаяния. По исследованиям М.Г. Суховой [5], за период с 1980 по

1995 г. количество осадков на Алтае было ниже нормы, с 1996 по 2001 г. сумма осадков возросла и превысила норму, а с 2001 по 2005 г. разность между климатической нормой и годовой суммой осадков вновь стала отрицательной.

Территориальные различия в распределении количества осадков и изменение циркуляционных процессов обуславливают различия в изменениях среднего годового, сезонного и экстремального стока рек в разные временные периоды. Так за 30-летие, с середины XX столетия до середины 80-х годов, на преобладающем фоне отсутствия значимых изменений среднего годового стока наблюдалось его увеличение у рек с бассейнами западной ориентации Алтая и Западных Саян (рр. Томь, Ануй, Песчаная), а в тот же период для рек бассейна Катунь и других, формирующих сток во внутриконтинентальных районах Южного и Центрального Алтая, были характерны отрицательные тенденции изменений стока [3]. В изменениях максимального стока рек Алтая преобладали отрицательные тенденции (рр. Бия, Чарыш), а у Катунь были незначимые изменения.

Сравнение величин сезонной водности рек средней за 1946–1976 и 1976–2000 гг. свидетельствует об увеличении водности большинства рек в весенний период (рис. 2). Сток летнего периода на всех реках Горного Алтая уменьшился, а в зимний период уменьшение произошло только на некоторых реках бассейна Катунь (рр. Кокса и Урсул). На остальной территории наблюдалось увеличение стока зимней межени или отсутствие изменений. Осенний период отличается наибольшим разнообразием изменений водности, но с преобладанием положительных изменений и их отсутствия.

Анализ колебаний стока за последнее 20-летие (с 1988 г.) свидетельствует о существенном изменении его направленности на реках Горного Алтая. В среднем годовом стоке преобладает отсутствие значимых изменений, но у Катунь отрицательная направленность сменилась на положительную тенденцию. Сохранилась положительная тенденция изменений стока у рек западной периферии Алтая (р. Песчаная).

В последнее 20-летие у наиболее многоводных рек Алтая (Катунь и Бия), формирование стока которых происходит во всех высотных зонах, отрицательная направленность изменений максимального стока сменилась на положительную (рис. 3).

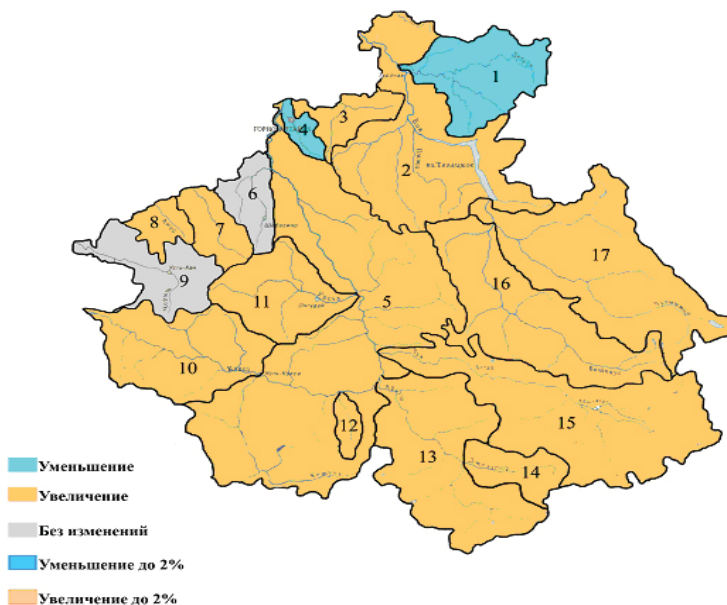


Рис.2. Направленность изменения водности рек Алтая в весеннее половодье за период 1976–2000 гг. по отношению к периоду 1946–1976 гг. Цифрами обозначены бассейны рек: 1 – Лебедь, 2 – Бия, 3 – Иша, 4 – Майма, 5 – Катунь, 6 – Сема, 7 – Песчаная, 8 – Ануй, 9 – Чарыш, 10 – Кокса, 11 – Урсул, 12 – Ак-Кем, 13 – Аргут, 14 – Джазатор, 15 – Чуя, 16 – Башкаус, 17 – Чулышман.

Поэтому на таких реках увеличилась вероятность формирования высоких максимумов уровня воды в половодье с выходом ее на пойму. Важнейшей причиной этого является весеннее потепление, вследствие которого в период весеннего половодья одновременное снеготаяние происходит в нескольких высотных зонах, обуславливая большую интенсивность стока, тогда как в годы до интенсивного потепления снеготаяние распространялось по высоте более продолжительное время, сдвигаясь на летние месяцы, и половодье было более продолжительное время. Об этом свидетельствует сравнение осредненных гидрографов стока рек за периоды наблюдений 1946–1976 и 1976–2000 гг. (рис.4–5). Поэтому вероятность высоких уровней в половодье и, следовательно, опасных наводнений на таких реках до современного потепления была меньше.

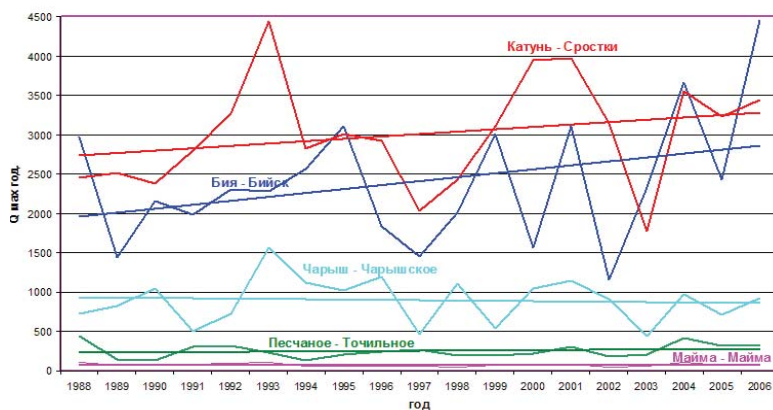


Рис. 3. Совмещенные графики изменений максимального стока половодья на реках Горного Алтая за 1988–2006 гг.

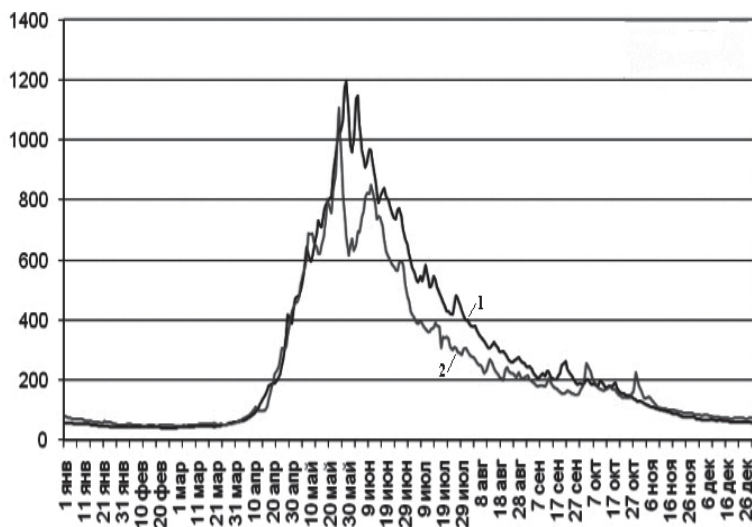


Рис. 4. Осредненные за 1946–1976 (1) и 1976–2000 гг. (2) гидрографы стока воды р. Катунь у с. Тюнгур (высокогорная зона)

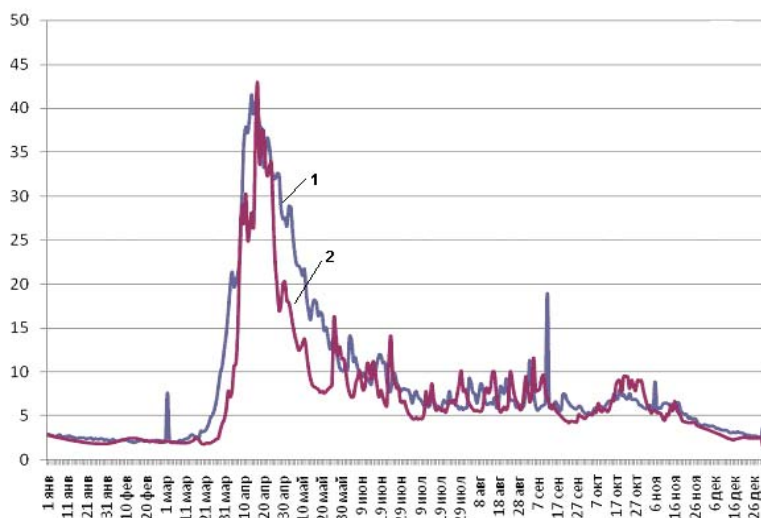


Рис. 5. Осредненные за 1946–1976 (1) и 1976–2000 гг. (2) гидрографы стока воды р. Майма – с. Майма (низкогорная зона)

Сравнение гидрографов стока и продолжительностей стока летней межени свидетельствует о том, что за период интенсивного потепления она стала больше. Это повысило вероятность наступления на реках в горах и предгорьях экстремально маловодных периодов с неблагоприятными последствиями для народного хозяйства.

Повторяемость маловодий. Анализ сведений об ущербе народному хозяйству в связи с изменениями климата свидетельствует, что к неблагоприятным изменениям гидрологического режима за 1991–2008 годы относятся и участвовавшие маловодия в период летней межени, ущерб от которых особенно возрос на предгорных участках рек территории Алтайского края, а за 18 лет на реках всего юга Западной Сибири было 38 случаев зафиксированного ущерба от экстремально низкой межени [4]. Большинство этих случаев приходится на последние годы, и общая продолжительность неблагоприятной низкой межени в Республике Алтай с 2006 года составляет 152 суток, а на реках Алтайского края за 2002 – 2008 гг. составила 735 суток, что является «рекордом» для субъектов РФ.

Причиной этому являются в основном тоже изменения усло-

вий снегового питания и гидрологического режима горных рек. До начала интенсивного повышения температуры воздуха изменения минимального стока на реках Горного Алтая были преимущественно положительные, но у Катунь, получающей ледниковое питание, минимальный летний сток менялся мало. Анализ колебаний стока за последние 30 (с 1976 г.) и 20 лет (с 1988 г.) свидетельствует о существенном изменении его направленности на реках Горного Алтая. У Бии минимальный зимний и летний стоки, у Чарыша зимний изменяется с отрицательной тенденцией, т.е. направленность изменений сменилась на противоположную (рис.6).

В минимальном стоке Катунь сохранилась слабая положительная направленность изменений, что свидетельствует о том, что питающие ее ледники не утратили еще регулирующую роль в стоке воды во время маловодных периодов года. Но она недостаточна для поддержания высокой водности Оби в отдельные засушливые летние периоды, тем более что продолжительность летней межени возросла.

Аналогичными гидрометеорологическими условиями совре-

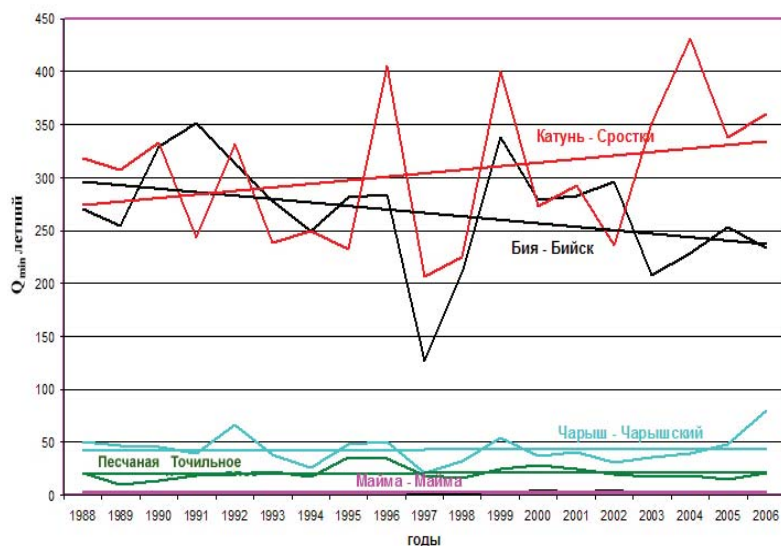


Рис. 6. Совмещенные графики изменений минимального летнего стока рек Горного Алтая за 1988–2006 гг.

менных изменений климата обусловлены увеличения повторяемости маловодий с зафиксированным ущербом на реках других горных районов территории России. В Предуралье (рр. Кама, Вятка) за 18 лет было 11 случаев ущерба от маловодий. В бассейне Амура зафиксировано 20, а в бассейне Колымы 10 случаев ущерба от низкой межени. Годы с низкой меженью в летний период стали частым явлением у рек верхней части бассейна Енисея и в Забайкалье. Реже бывают периоды маловодия в бассейнах Дона (4 случая) и рек Северного Кавказа (3 случая). Суммарно увеличение с начала текущего столетия по сравнению с последним десятилетием прошлого века повторяемости маловодий на рассматриваемых реках России произошло более чем в 2 раза. Продолжительность низкой межени особенно возросла тоже в последние годы, и по совокупности количества суток с причиненным ущербом за год лидируют субъекты Федерации на территории верхней части бассейна Оби.

Увеличение частоты наступления низкой межени обусловлено уменьшением количества осадков, увеличением продолжительности летней межени и засушливых периодов летом, а на горных реках, формирующих сток в высокогорной зоне, также уменьшением регулирующей роли в стоке деградирующими ледниками и снежниками.

Изменения качества воды рек

Статистический анализ многолетних наблюдений за химическим составом воды рек показал отсутствие существенных статистически значимых изменений среднегодовых значений основных солеобразующих компонентов воды всех изученных рек. Но испытания на тренд за 15-летний период наблюдений (1989–2003 гг.) показали, что у рек с бассейнами западной периферии и ориентации (рр. Ануй, Песчаная) на фоне увеличения среднего годового стока наблюдается незначительное снижение рН воды, уменьшается величина суммарной минерализации воды (рис. 7). Концентрация гидрокарбонат-ионов, сульфат- и хлорид-ионов или остается неизменной (р. Ануй), или незначительно снижается (р. Песчаная). В то же время в этих реках отмечен рост жесткости воды преимущественно за счет увеличения концентрации ионов кальция. Для рек, формирующих сток во внутриконтинентальных районах (рр. Бия, Чарыш), на фоне снижения среднегодового стока наблюдается как незначительное снижение рН воды (для р. Чарыш),

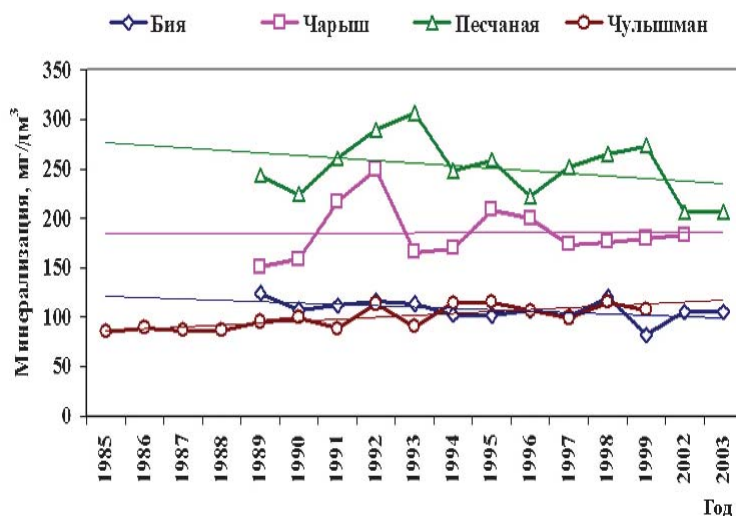


Рис. 7. Изменение суммарной минерализации воды рек Горного Алтая за период 1986–2003 гг.

так и рост водородного показателя (для р. Бия), увеличение суммарной минерализации воды рек, концентраций сульфат- и хлорид-ионов, ионов кальция (в пределах 10 %). Для рек бассейна Телецкого озера (рр. Чулышман, Яйлю, Кокши, Кыга, Артыбаш) за 15-летний период наблюдений (1985–1999 гг.) можно отметить увеличение рН воды во всех реках, незначительный рост суммарной минерализации воды в реках Чулышман, Кокша и Яйлю, а в реках Артыбаш и Кыга она осталась неизменной. Следует отметить, что в последние годы практически на всех реках уменьшились максимально наблюдаемые концентрации для большинства солеобразующих компонентов.

Корреляционный анализ взаимосвязи концентрации главных ионов с расходом воды позволяет выявить возможное антропогенное влияние на качество воды рек. Корреляционный анализ данных многолетних наблюдений выявил статистически значимые связи со стоком воды для ионов кальция, гидрокарбонат-ионов и суммарной минерализации воды почти для всех изученных рек. Это свидетельствует, что основное влияние на формирование режима главных ионов оказывает поверхностный сток воды, а влияние антропогенной составляющей незначительно.

Об изменениях опасных гидрологических явлений в будущем.

Методика оценки изменений экстремального стока воды рек и опасных гидрологических явлений в связи с ожидаемым изменением климата не разработана. Поэтому, основываясь на прогнозируемых по климатическим моделям изменениях осадков, температуры воздуха, суммарного годового и подземного стока, можно давать только качественную оценку направленности изменений экстремальных величин стока, опасных наводнений и маловодий на реках России в будущем. Для этого обычно исходят из аналогии с ожидаемыми изменениями годового стока рек. При оценках изменений годового стока рек в будущем используются расчеты и прогнозы изменений основных климатических параметров (приземная температура и атмосферные осадки) по численным моделям климатической системы с учетом различных сценариев изменений климата с использованием моделей общей циркуляции атмосферы или объединенных моделей с моделями поверхности суши и моделями океана (КМОЦ) [1]. Результаты таких исследований свидетельствуют о том, что в середине и конце XXI столетия следует ожидать увеличение годового стока воды большинства рек северных районов территории России и уменьшение в южных районах [1].

Описанные выше тенденции изменений повторяемости высоких наводнений и паводков на реках Приморья, юга Западной Сибири, Урала и Северного Кавказа свидетельствуют о том, что прогнозируемое уменьшение годового стока в южных районах страны, вероятно, не будет сопровождаться аналогичными тенденциями изменения экстремально высокого стока рек, а скорее, наоборот, следует ожидать сохранения или даже повышения вероятности опасных наводнений, особенно на реках, формирующих сток половодья, дождевых паводков и селей в горах. Этому будут способствовать продолжение деградации горных оледенений с освобождением от льда и снега моренных отложений (дополнительный материал для селей), увеличение частоты, интенсивности ливневых осадков и их высотного распространения при повышении температуры воздуха. Более вероятно увеличение повторяемости и продолжительности экстремальных маловодных периодов в периоды летней межени.

Таким образом, анализ изменения опасных и неблагоприятных гидрологических явлений, обусловивших зафиксированный ущерб в последнем десятилетии XX века и первом десятилетии XXI столетия, свидетельствует об увеличении повторяемости высоких наводнений, паводков и селей в большинстве горных и предгорных регионов России, а маловодий – преимущественно в южных предгорных райо-

нах страны. При этом в южных, наиболее густо населенных районах страны, суммарный ущерб от экстремальных гидрологических явлений увеличивается в наибольшей степени. Поэтому для этих районов при разработке схем устойчивого развития особенно важно учитывать климатически обусловленные изменения гидрологического режима рек, опасные наводнения и маловодия, оценивать их социально-экономические и экологические последствия, принимать меры по адаптации их к изменениям климата.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Республики Алтай (проект № 09-05-98009).

Литература

1. Добровольский С. Г. Проблемы глобального потепления и изменений стока российских рек // Водные ресурсы. – 2007. – Т.34, №6. – С.643–655.
2. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Том 2. Последствия изменений климата. – 2008. – 288 с.
3. Семенов В. А. Ресурсы поверхностных вод гор России и сопредельных территорий. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2007. – 147 с.
4. Семенов В. А. Климатически обусловленные изменения опасных наводнений, паводков и маловодий в крупных речных бассейнах России // Сборник научных трудов Всероссийской конференции «Водные проблемы крупных речных бассейнов и пути их решения». – Барнаул: Агентство рекламных технологий, 2009. – С. 194–203.
5. Сухова М. Г. Региональные особенности климатических изменений на Алтае // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции «Региональные аспекты глобальных изменений климата и их последствий». – Калуга: Изд-во КГПУ имени К.Э Циолковского, 2008. – С. 29–31.
6. Шерстюков Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. – 247 с.

ОБ ИЗМЕРЕНИИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Решение проблемы прогнозирования климата тесно связано с измерением климатических характеристик. Термин «измерение» подчеркивает, что в основе климатических характеристик лежат эмпирические данные, полученные на сети метеорологических станций. Обобщенные характеристики (средние, дисперсии, повторяемости и т.д.), вычисленные по результатам измерений, можно рассматривать как эмпирические значения измерительно-вычислительного комплекса [10]. Причем они принципиально ничем не отличаются от «обычных» измерений, которые, как известно, всегда отражают не мгновенные значения физической величины, а усредненные (интегральные, «вычисленные») за некоторый промежуток времени.

Чтобы измерять, вначале необходимо качественно описать объект измерения или свойство, присущее исследуемому объекту. В данном случае объектом измерения является климатическая система, а измеряемым свойством является климат. Климатическая система представляет сложную (открытую нелинейную диссипативную многокомпонентную) систему, а климатом, по определению, является статистический ансамбль состояний этой системы за 30 лет. На Стокгольмской конференции ПИГАП в 1974 году было подчеркнуто, что «климат – понятие глобальное по своей природе, так что глобальный климат не есть сумма локальных климатов. Наоборот, локальные климаты суть проявление единого глобального процесса; этот подход присущ численному моделированию климата, им же следует руководствоваться и при эмпирических описаниях климата» [9].

Рассмотрим основные черты методов эмпирических измерений эмпирических характеристик климата.

1. На практике климатом часто называют либо «среднюю погоду», т.е. совокупность средних значений основных метеорологических переменных («нормы»), либо значения повторяемости по градациям отклонений этих переменных от «норм», характеризующих степень изменчивости погодных условий в каждой заданной точке, либо для некоторых заданных физико-географических условий [1]. Следователь-

но, эмпирические значения глобального климата представляют совокупность (сумму) локальных климатов, поскольку они определяются независимо друг от друга. Иначе говоря, рекомендация конференции полностью игнорируется, и это не позволяет органически сочетать результаты теоретических и эмпирических исследований.

2. В тех случаях, когда глобальный климат оценивают (измеряют) среднегодовыми значениями по полушарию, исчезают свойства локальных климатов, т.к. все они тождественно равны глобальному климату. Тем самым игнорируется вековой опыт исследования локальных климатов и климатических зон.

3. Методы измерения климатических характеристик не учитывают короткопериодные (с периодом 5 – 6 лет) и долгопериодные (с периодом несколько десятилетий) колебания реального климата. Если хозяйственная деятельность имеет циклический характер с периодом 1 год (например, в сельском хозяйстве), то использование климатических характеристик за 30 лет в разные годы может приводить к увеличению рисков либо 1-го, либо 2-го рода.

Несогласованность теоретического подхода и эмпирических характеристик климата не способствует развитию методов прогноза глобального и локальных климатов. Мониторинг характеристик локальных климатов не имеет практического применения, поскольку он отражает не текущие погодные условия, а их состояние за прошедшие 30 лет. Мониторинг глобальных характеристик климата (среднегодовых значений по полушарию) также не имеет практического значения, т.к. тенденция глобальной характеристики может не совпадать с тенденцией локального климата.

Чтобы эмпирические характеристики климата были адекватны теоретическим представлениям, достаточно представить математическое ожидание $\hat{u}$ статистического ансамбля и обобщенную характеристику его рассеяния $\hat{s}$ относительно $\hat{u}$ в виде функций с разделенными переменными (по аналогии с решением уравнения теплопроводности Фурье:

$$\hat{u}(x, y, t) = \hat{\varphi}_0(t) + \hat{\varphi}_1(t)\hat{f}(x, y), \quad (1)$$

$$\hat{s}(x, y, t) = \hat{\phi}_0(t) + \hat{\phi}_1(t)\hat{\psi}(x, y), \quad (2)$$

где x, y – горизонтальные координаты, t – время, $\hat{\varphi}_0(t), \hat{\varphi}_1(t), \hat{f}(x, y), \hat{\phi}_0(t), \hat{\phi}_1(t), \hat{\psi}(x, y)$ – эмпирические функции, $t = [0, T]$.

Функция $\hat{f}(x, y)$ характеризует средние значения погодных условий климатических зон (локальные климаты), а функция $\hat{\psi}(x, y)$ – среднюю интенсивность колебания погодных условий за период T . Функции $\hat{\varphi}_0(t), \hat{\varphi}_1(t), \hat{\phi}_0(t), \hat{\phi}_1(t)$ не зависят от координат, т.е. они являются глобальными характеристиками климата, т.е. ансамблей $\hat{u}(x, y, t), \hat{s}(x, y, t)$. Функции $\hat{\varphi}_0(t), \hat{\phi}_0(t)$ имеют тот же смысл, что и, например, среднегодовые по полушарию. Произведения $\hat{\varphi}_1(t)\hat{f}(x, y), \hat{\phi}_1(t)\hat{\psi}(x, y)$ отражают особенности проявления глобальных процессов $\hat{\varphi}_1(t), \hat{\phi}_1(t)$ в каждой конкретной точке пространственных координат. Таким образом, глобальные колебания климата имеют две составляющие – общую для всего полушария, и локальную, присущую конкретным физико-географическим условиям. Следовательно, выражения (1), (2) не противоречат классической климатологии, которая занимается описанием локальных климатов, и полностью соответствуют определению физической теории климата, т.е. эмпирические характеристики климата $\hat{\varphi}_0(t), \hat{\varphi}_1(t), \hat{f}(x, y), \hat{\phi}_0(t), \hat{\phi}_1(t), \hat{\psi}(x, y)$ полностью согласуются с теоретическим подходом.

До тех пор, пока функции $\hat{f}(x, y), \hat{\psi}(x, y)$ являются адекватными эмпирическим данным, можно говорить о колебаниях климата, обусловленных колебаниями глобальных характеристик $\hat{\varphi}(t), \hat{\phi}(t)$. Об изменении климата можно говорить в том случае, когда функции $\hat{f}(x, y), \hat{\psi}(x, y)$ перестают быть адекватными эмпирическим данным. Следует отметить, что именно адекватность $\hat{f}(x, y), \hat{\psi}(x, y)$ определяет выбор интервала T , а не формальные соображения, такие, например, как «характерное время жизни человека, время использования основных сооружений, а также сроки планирования и полномочий общественных и политических деятелей» [12].

Из законов статистической физики известно, что изменение параметров функции распределения вероятностей статистического ансамбля происходит взаимосвязано. Следовательно, можно записать уравнение состояния глобального климата (3), или уравнение

траектории климата в фазовой плоскости, или уравнение согласования эмпирических характеристик ансамбля

$$\hat{F}[\hat{\varphi}(t), \hat{\phi}(t)] = 0, \quad (3)$$

где $\hat{F}$ – также эмпирическая функция.

В [8] показано, что если погрешность эмпирической функции $\hat{F}$ невелика, то уравнение траектории (3) можно использовать для разработки эмпирического метода прогнозирования глобальных значений $\hat{\varphi}(t), \hat{\phi}(t)$ и, соответственно, для прогнозирования локальных климатов.

Таким образом, если найти способ определения эмпирических функций $\hat{\varphi}(t)$, $\hat{f}(x, y)$, $\hat{\phi}(t)$, $\hat{\psi}(x, y)$, $\hat{F}$ по данным наблюдений, то эмпирические характеристики климата будут адекватно характеризовать свойства климатической системы и будут устранены несоответствия с физическими представлениями климата. Это можно сделать, если в основу метода определения эмпирических функций положить следующие три основных принципа системного синтеза [4, 7].

1. Для описания сложной системы в определенных областях фазового пространства достаточно использовать небольшое число переменных, которые определяют структуру (порядок) в системе. Эти переменные так и называют – переменными (параметрами) порядка, характеризующими «медленные» процессы. «Параметры порядка возникают в результате конкуренции в условиях хаоса и неустойчивости, но, появившись, сразу «закабаляют» все остальные неустойчивости, резко сокращая число степеней свободы системы. В таком виде система уже может прогнозироваться без привлечения сложнейших теорий. Она становится понятной без упрощения ее сложности» (проф. В.С. Капустин). Все остальные переменные определяют «быстрые» процессы, которые, объединяясь в корпоративное (когерентное) движение, в свою очередь, оказывают воздействие на значения параметров порядка, формируя макроскопическую структуру нелинейной системы. В синергетике эту взаимосвязь называют круговой причинностью. Благодаря существованию параметров порядка в области прогнозов происходит настоящая революция. «Прогнозирование перестает быть наукой, это становится технологией» (С.П. Курдюмов).

2. При циклическом изменении внешних условий вынужденные колебания сложной системы не обязательно будут строго

повторяться, но они будут подобными между собой (подчиняться принципу «золотой пропорции» [4]).

3. Для описания сложной системы необходимо найти (синтезировать) эмпирическую систему уравнений, которая, по существу, и представляет систему главных переменных (параметров порядка).

Рассмотрим, каким образом эти принципы можно использовать на примере измерения климатических характеристик приземной температуры воздуха.

Обозначим через $u(t, \xi, \eta, x)$ значения температуры воздуха, t – порядковый номер года от начала периода наблюдений, ξ – номер дня в году, η – порядковый номер срока наблюдения в течение суток, x – вектор пространственных координат. Из условия подобия суточного хода температуры воздуха можно записать выражение

$$u(t, \xi, \eta, x) = a_0(t, \xi, x) + a_1(t, \xi, x)\bar{u}(\xi, \eta, x) + e(t, \xi, \eta, x), \quad (4)$$

где $\bar{u}(\xi, \eta, x)$ – средние многолетние значения.

Параметры $a_0(t, \xi, x)$, $a_1(t, \xi, x)$ можно найти методом наименьших квадратов (МНК). Чем больше период наблюдений (T) и чем больше наблюдений в сутках (nc), тем точнее будут получены (измерены) параметры a_0 , a_1 и тем надежнее будут оценки $e(t, \xi, \eta, x)$, характеризующие мезомасштабные колебания с характерным периодом несколько часов. Выражение (4), таким образом, выполняет роль фильтра, который оказывается эффективнее известных цифровых фильтров [6], поскольку, во-первых, фильтр (4) имеет минимально возможное число параметров и линейная аппроксимация $u(t, \xi, \eta, x)$ является адекватной для любого пункта наблюдений и для любого дня года, в чем легко убедиться графически. Во-вторых, отклонения $e(t, \xi, \eta, x)$ определяются от суточного хода текущего дня, а не от средних многолетних значений, как это делается при «традиционном» подходе.

Параметр $a_0(t, \xi, x)$ представляет «обычные» среднесуточные значения температуры воздуха. Параметр $a_1(t, \xi, x)$ характеризует амплитуду суточного хода, которая, очевидно, может существенно отличаться от значений амплитуды суточного хода, получаемой путем традиционной климатологической обработки данных, как разность между максимальным и минимальным значениями.

Наряду с параметрами a_0, a_1 будем рассматривать средне-квадратическое отклонение $s(t, \xi, \eta)$ мезомасштабных флуктуаций $e(t, \xi, \eta, x)$:

$$s(t, \xi, \eta) = \{[\Sigma e^2(t, \xi, \eta, x)]/nc\}^{1/2}. \quad (5)$$

Применим принцип подобия для вынужденных колебаний $a_0(t, \xi, x), a_1(t, \xi, x), s(t, \xi, \eta)$ в течение года:

$$a_0(t, \xi, x) = b_0(t, x) + b_1(t, x) \bar{a}_0(\xi, x) + e_{a_0}(t, \xi, x), \quad (6)$$

$$a_1(t, \xi, x) = c_0(t, x) + c_1(t, x) \bar{a}_1(\xi, x) + e_{a_1}(t, \xi, x), \quad (7)$$

$$s(t, \xi, x) = d_0(t, x) + d_1(t, x) \bar{s}(\xi, x) + e_s(t, \xi, x), \quad (8)$$

где $\bar{a}_0(\xi, x), \bar{a}_1(\xi, x), \bar{s}(\xi, x)$ – средние многолетние значения среднесуточной температуры, амплитуды суточного хода и среднеквадратического отклонения мезомасштабных флуктуаций; параметр $b_0(t, x)$ есть «обычные» среднегодовые значения температуры воздуха; амплитуда годового хода среднесуточной температуры $b_1(t, x)$ также может существенно отличаться от значений, вычисленных по традиционным правилам климатологической обработки данных; значения $c_0(t, x), c_1(t, x)$ являются параметрами годового хода размаха суточных колебаний, а $d_0(t, x), d_1(t, x)$ – параметрами годового хода мезомасштабных флуктуаций. Отклонения $e_{a_0}(t, \xi, x), e_{a_1}(t, \xi, x), e_s(t, \xi, x)$ от годового хода обусловлены процессами синоптического масштаба. Следует отметить, что e_{a_0}, e_{a_1}, e_s определяются как разности от текущего годового хода, а не от средних многолетних значений. Поэтому значения e_{a_0}, e_{a_1}, e_s могут существенно отличаться от «традиционных» аномалий.

Параметры $b_0(t, x), b_1(t, x), c_0(t, x), c_1(t, x), d_0(t, x), d_1(t, x)$, согласно принципу «золотой пропорции», также можно представить в виде

$$b_0(t, x) = p_0(t) + p_1(t) \bar{b}_0(x) + e_{b_0}(t, x), \quad (9)$$

$$b_1(t, x) = q_0(t) + q_1(t) \bar{b}_1(x) + e_{b_1}(t, x), \quad (10)$$

$$c_0(t, x) = h_0(t) + h_1(t) \bar{c}_0(x) + e_{c_0}(t, x), \quad (11)$$

$$c_1(t, x) = \alpha_0(t) + \alpha_1(t) \bar{c}_1(x) + e_{c_1}(t, x), \quad (12)$$

$$d_0(t, x) = \beta_0(t) + \beta_1(t) \bar{d}_0(x) + e_{d0}(t, x), \quad (13)$$

$$d_1(t, x) = \theta_0(t) + \theta_1(t) \bar{d}_1(x) + e_{d1}(t, x), \quad (14)$$

где $\bar{b}_0(x)$, $\bar{b}_1(x)$ – поле среднегодовых многолетних среднесуточных значений температуры воздуха и амплитуды их годового хода соответственно, $\bar{c}_0(x)$, $\bar{c}_1(x)$ – поле средних многолетних значений амплитуды суточного хода и амплитуды их годового хода соответственно, $\bar{d}_0(x)$, $\bar{d}_1(x)$ – поле средних многолетних значений среднеквадратического отклонения мезомасштабных флуктуаций и амплитуды их годового хода соответственно. Параметры $p, q, h, \alpha, \beta, \Theta$ можно найти по МНК.

Поля $b_0(t, x)$, $b_1(t, x)$, $c_0(t, x)$, $c_1(t, x)$ можно рассматривать как статистический ансамбль (случайные реализации) характеристик суточных колебаний температуры воздуха на полушарии. Первые два слагаемых в (9) – (14) являются математическими ожиданиями ансамбля реализаций или переменными, определяющими медленные процессы. Поля $e_{b0}(t, x)$, $e_{b1}(t, x)$, $e_{c0}(t, x)$, $e_{c1}(t, x)$, $e_{d0}(t, x)$, $e_{d1}(t, x)$ представляют мелкомасштабные по пространству флуктуации среднегодовых характеристик, обусловленные погодными (быстрыми) процессами. Эти поля можно характеризовать значениями среднеквадратических отклонений:

$$S_{b0}(t) = \{[\sum e_{b0}^2(t, x)]/n_g\}^{1/2}, \quad (15)$$

$$S_{b1}(t) = \{[\sum e_{b1}^2(t, x)]/n_g\}^{1/2}, \quad (16)$$

$$S_{c0}(t) = \{[\sum e_{c0}^2(t, x)]/n_g\}^{1/2}, \quad (17)$$

$$S_{c1}(t) = \{[\sum e_{c1}^2(t, x)]/n_g\}^{1/2}, \quad (18)$$

$$S_{d0}(t) = \{[\sum e_{d0}^2(t, x)]/n_g\}^{1/2}, \quad (19)$$

$$S_{d1}(t) = \{[\sum e_{d1}^2(t, x)]/n_g\}^{1/2}, \quad (20)$$

где n_g – количество дней в году.

Первые два слагаемых в (9) – (14) представляют искомые функции с разделенными переменными, описывающие климатические

колебания параметров сезонных изменений характеристик суточного хода. Функции $e_{a0}(t, \xi, x)$, $e_{a1}(t, \xi, x)$, $e_s(t, \xi, x)$ в (9) – (14) характеризуют колебания, обусловленные процессами синоптического масштаба. Зная вид функции распределения вероятностей этих колебаний и значения функций (15) – (20), можно легко определить традиционные климатические характеристики изменчивости погодных условий (повторяемости, экстремумы и др.)

Если $p_0(t) = \text{const}$, $p_1(t) = \text{const}$, т.е. климат не меняется, то выражения (9) – (14) вырождаются в тождества, параметры b_0 , b_1 , c_0 , c_1 , d_0 , d_1 в (6) – (8) также не зависят от времени, и изменчивость погодных условий определяется традиционным способом как отклонения от средних многолетних значений.

Таким образом, по результатам метеорологических наблюдений необходимо определить (измерять) 24 первичных климатических характеристики. Эмпирические функции $\bar{b}_0(x)$, $\bar{b}_1(x)$, $\bar{c}_0(x)$, $\bar{c}_1(x)$, $\bar{d}_0(x)$, $\bar{d}_1(x)$ (многолетние поля) описывают пространственную структуру климата. До тех пор, пока они не меняют свою структуру, можно говорить о колебаниях климата, обусловленных колебаниями глобальных параметров p_0 , p_1 , q_0 , q_1 , h_0 , h_1 , α_0 , α_1 , β_0 , β_1 , θ_0 , θ_1 , S_{b0} , S_{b1} , S_{c0} , S_{c1} , S_{d0} , S_{d1} . В терминах теории динамических систем это означает, что система находится в области одного и того же аттрактора. При изменении структуры многолетних полей можно говорить об изменении климата (система перешла в область другого аттрактора). При переходе в новый аттрактор система неизбежно проходит область джокера [5], в которой возрастает интенсивность быстрых процессов и уменьшается горизонт прогноза глобальных параметров.

Изменения глобальных параметров можно записать в виде уравнения состояния или в виде параметрического уравнения движения в фазовом пространстве

$$\hat{F}[p_0, p_1, q_0, q_1, h_0, h_1, \alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1, \theta_0, \theta_1, S_{b0}, S_{b1}, S_{c0}, S_{c1}, S_{d0}, S_{d1}]. \quad (21)$$

Модель (21) обобщает результаты обработки эмпирических данных по формулам (6) – (20) и позволяет заключить, насколько корректным является методика измерения климатических характеристик. Если модель (21) является статистически неэффективной (коэффициент детерминации не достаточно велик), то использование принципа подобия, лежащего в ее основе, следует признать некорректным.

Покажем, что модель (21) является статистически эффективной для предельно малого объема эмпирических данных. Найдем климатические параметры $p_0, p_1, q_0, q_1, S_{b0}, S_{b1}$, используя только минимальные значения из суточного архива [11] по 200 станциям Северного полушария за период с 1948 по 1994 год, для которого ряды наблюдений имеют относительно небольшое количество пропусков. Пусть зависимой переменной является параметр p_0 (среднегодовые значения минимальной температуры за сутки), а остальные параметры будем считать независимыми переменными. На рисунке показана аппроксимация p_0 по уравнению регрессии шаговым методом [2]. Все параметры модели статистически значимы при уровне вероятности 0,95, коэффициент детерминации равен 70 %.

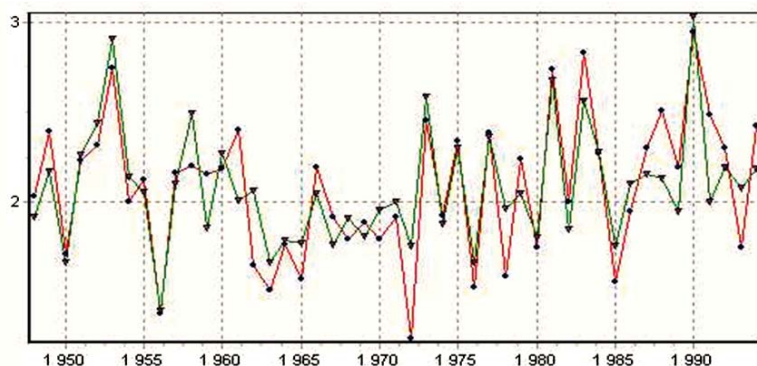


Рис. Среднегодовые значения температуры воздуха Северного полушария (• эмпирические значения, ▼ модельные значения)

Если использовать значения минимальной и максимальной температуры воздуха, то можно грубо оценить амплитуду суточных колебаний. В этом случае, как показано в [7], коэффициенты детерминации частных моделей (одна переменная считается зависимой, а остальные – независимыми) могут быть очень высокими (более 99 %), что позволяет прогнозировать движение многомерной точки в фазовом пространстве с помощью динамической авторегрессии [8] (в модели динамической авторегрессии, в отличие от модели статистической авторегрессии, случайная составляющая может быть равна нулю).

Следует отметить, что если глобальный климат рассматривать как сумму локальных климатов, то их прогнозирование упирается

в ту же проблему, что и численные модели климата, основанные на гидродинамических методах прогноза погоды. Напротив, прогнозирование глобальных параметров эмпирическими методами, как показывает рисунок, является вполне перспективным подходом.

Очевидно, что для получения климатических характеристик по модельным значениям физической теории климата также необходимо использовать выражения (6) – (21). Критерием адекватности модельного климата может быть подобие изменений климатических параметров, полученных по модельным и эмпирическим данным. Если модельный климат окажется адекватным, то только в этом случае результаты прогноза можно использовать в практических целях.

Переход состояния системы в область нового аттрактора неизбежно приведет к нарушению адекватности и уравнения (19), и соотношений (6) – (14). Таким образом, начало перехода климата в новое состояние (в новое распределение климатических зон) можно контролировать с помощью известных статистических критериев [3].

Невозможно планировать хозяйственную деятельность, не зная будущее состояние природной среды, в частности климата. Ориентироваться на то, что «завтра» климат будет таким, каким он был «вчера», часто сопряжено с большими потерями, а порой и с трагическими последствиями. Метод прогноза климата как прогноза совокупностей погод с помощью численных моделей является бесперспективным, подобно тому, как невозможно прогнозировать давление газа в сосуде, зная приблизительно внешние условия, положение и скорости молекул в момент времени t_0 . Прогнозировать климат пока возможно лишь эмпирическими методами. Но для этого необходимо знать эмпирические характеристики с достаточно высокой точностью. Основная проблема здесь связана с созданием глобального качественного массива данных наблюдений с дискретностью 3 или хотя бы 6 часов. Суточные данные и тем более осредненные за месяц не позволяют получить полную систему эмпирических уравнений (6) – (21), и поэтому сложно отличить колебания климата в пределах одного и того же аттрактора от изменения климата.

Наибольшее влияние на качество данных оказывают пакетные (систематические) ошибки, которые могут существенно нарушать климатическую однородность рядов наблюдений. Такие данные

необходимо исключить из обработки. Систематические ошибки в архивных данных могут быть по нескольким причинам:

- из-за недостаточной эффективности межстанционного контроля на этапе первичной обработки данных,
- из-за отсутствия межстанционного контроля в периоды начальных этапов внедрения новых технологий первичной обработки,
- из-за невнимательности при визуальном анализе большого объема табличных данных межстанционного контроля,
- из-за сбоев при копировании данных на МЛ.

Систематические ошибки невозможно выявить с помощью СУД АИСОРИ. Для этого необходимы специальные методы, тесно связанные с изложенной процедурой измерения климатических характеристик и использующие методы статистического оценивания [3].

В заключение отметим, что измерение климатических характеристик позволяет решать не только задачи исследования климата. Изложенный подход осуществляет нелинейную декомпозицию сложных временных рядов, какими являются данные метеорологических наблюдений. Результаты декомпозиции (в частности, колебания, обусловленные синоптическими и мезомасштабными процессами) можно использовать также для разработки методов прогноза погоды и особо опасных явлений.

Литература

1. Алисов Б.П., Полтораус Б.П. Климатология. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 209 с.
2. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
3. Закс Л. Статистическое оценивание. – М.: Статистика, 1976. – 599 с.
4. Колесников А.А. Прикладная синергетика: основы системного синтеза. – Таганрог: Изд-во ЮРГТУ, 2007. – 384 с.
5. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 360 с.
6. Поляк И.И. Многомерные статистические модели климата. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 184 с.

7. Степаненко С.Р., Воронцов А.А. Принципы системного синтеза эмпирических законов на примере моделирования климата // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2009. – №5. – С. 65–74.
8. Степаненко С.Р., Воронцов А.А. Об основных научно-методических аспектах технологии прогнозирования сложных систем // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2008. – №4. – С. 35–45.
9. Физические основы теории климата и его моделирования. – Л.: Гидрометеиздат. – 1977. – 271 с.
10. Цветков Э.И. Основы теории статистических измерений. – Л.: Энергоатомиздат. – 1986. – 256 с.
11. Data Set 9300 (DSI-9300). October 18, 2004, Asheville, NC 28801–5001. – National Climatic Data Center. – USA.
12. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Эмпирико-статистический анализ структуры и изменений климата // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1980. – Вып. 68. – С. 3–22.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ОПАСНОСТЬ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ОЦЕНКАХ ПО МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Вопросам влияния изменения климата на лесные пожары посвящен целый ряд исследований. В [5–8] показано увеличение числа пожаров на территории США и Канады, связанное с потеплением климата. В [1,3] показано, что в России в последние десятилетия количество лесных пожаров и лесная площадь, пройденная пожарами, возрастают.

В России для оценки горимости леса применяют индекс Нестерова [3], а за рубежом для тех же целей применяют индекс засушливости KBDI, предложенный в работе [4]. Индекс Нестерова и KBDI по-разному отражают совокупность метеорологических условий, благоприятных для возникновения пожаров. Соответствующие метеорологические условия являются необходимым, но недостаточным условием для возникновения лесного пожара. Пожар возникает и развивается при наличии еще двух факторов: наличие горючих материалов (леса) и наличие источника огня (возгорания). На возгорание лесных материалов дополнительно влияют породный состав, возраст, санитарное состояние лесных насаждений. Таким образом, лесной пожар – явление многофакторное. Применимость индексов должна оцениваться в каждом регионе отдельно, и выводы могут быть различными в зависимости от наличия в регионе всех указанных условий и от масштабов пространственного обобщения.

Лесные пожары, как правило, начинаются почти сразу после схода снежного покрова, если устанавливается сухая погода. Наличие сухой прошлогодней травяной подстилки на почве способствует возгоранию. В последующие месяцы зеленая масса ослабляет способность леса к возгоранию, однако высокая летняя температура усиливает горимость леса, которая сдерживается только выпадением атмосферных осадков. В каждом из упомянутых индексов перечисленные факторы учитываются, но учитываются по-разному. Поэтому между индексами существуют сходства и различия. По ежедневным данным о температуре и осадкам за

1966–2007 годы вычислены индексы Нестерова и KBDI и получены их многолетние средние значения на каждый день года. Далее предполагалось проводить сравнения индексов с фактическими данными о лесных пожарах, которые имеются только в обобщенном виде по федеральным округам (ФО), поэтому в пределах каждого федерального округа по всем его метеорологическим станциям был вычислен годовой ход индексов Нестерова и KBDI. Для расчетов использовалась полная база данных метеорологических наблюдений России, составляющая 1 612 станций.

На рис.1 и 2 показан многолетний ход индексов для Центрального федерального округа (ЦФО) и Северо-Западного федерального округа (СЗФО).

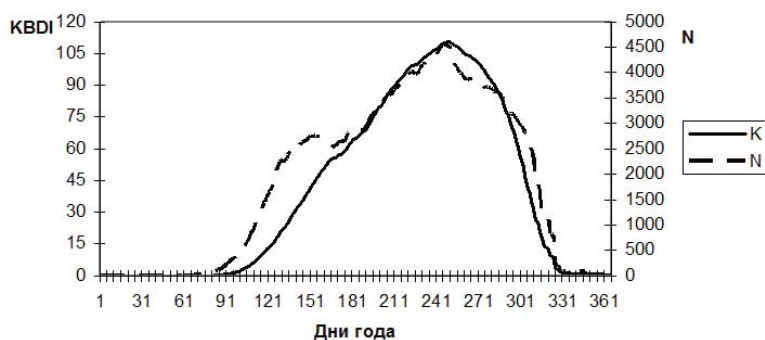


Рис. 1 . Средний многолетний годовой ход индексов горимости Нестерова (N) и KBDI (K) , за 1966–2007гг. Центральный ФО

Из рисунков видно, что весной индекс Нестерова примерно на месяц раньше, чем индекс KBDI начинает показывать повышение потенциальной горимости леса, а осенью – позднее, но быстрее индекс Нестерова показывает понижение горимости леса. Полное отсутствие потенциальной горимости наступает одновременно по двум индексам с переходом температуры через ноль. Индекс KBDI отличается более плавным ходом.

По данным индексов в ЦФО максимальная горимость леса наступает обычно в интервале 240–270 дней от начала года, т.е. в сентябре, а в СЗФО максимальная горимость леса наступает в июле–августе (рис.1, 2).

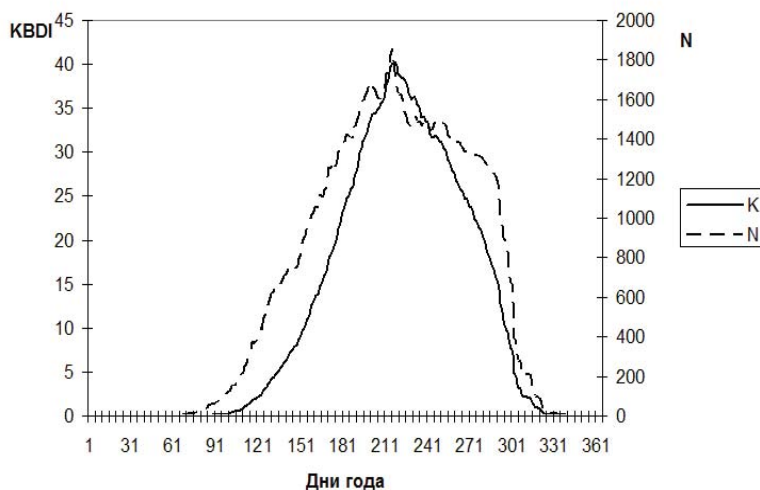


Рис. 2. Средний многолетний годовой ход индексов горимости Нестерова (N) и KBDI (K) за 1966–2007гг. Северо-Западный ФО

Количество дней в году с высокими значениями индексов должно показывать продолжительность интервала года с высокой способностью леса к возгоранию. В течение многих лет пожаро-опасный интервал может изменяться. Не известно, каким значениям каждого из индексов соответствует начало и окончание периода с высокой метеорологической обусловленностью лесных пожаров. Поэтому для сопоставления оценок горимости по двум индексам определялось число дней в году, в которых наблюдались 10 % самых высоких значений индекса (верхний 10-й процентиль).

По данным за 1966–2007 годы по каждой станции региона на каждый день были вычислены оба индекса. По рассчитанным индексам было определено критическое значение индекса Нестерова, выше которого оказалось 10 % дней с наиболее высокими значениями индекса Нестерова. Аналогично по индексу KBDI было получено критическое значение, выше которого 10 % дней сопровождалось наиболее высокими значениями KBDI. На каждой станции по каждому году подсчитано число дней с индексом Нестерова выше критического значения и отдельно число дней с индексом KBDI выше критического. Обобщением данных со

всех станций региона получено среднее значение по району числа пожароопасных дней в двух вариантах – по Нестерову и по KBDI. На рис. 3–4 показан многолетний ход числа пожароопасных дней по разным оценкам.

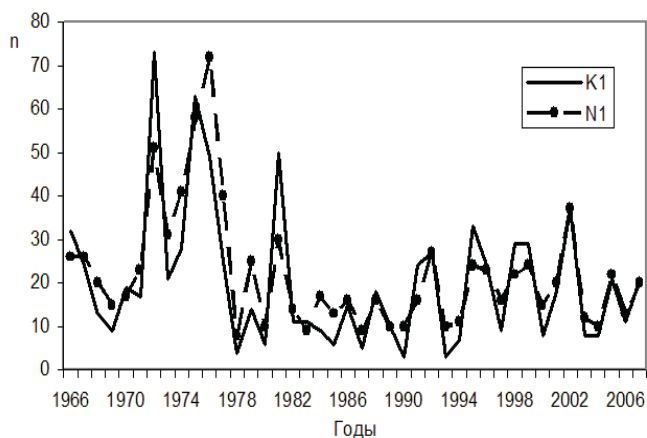


Рис.3. Число дней за год с опасной горимостью (верхний 10-й процентиль) по индексу Нестерова (N1) и по индексу KBDI (K1). Центральный ФО

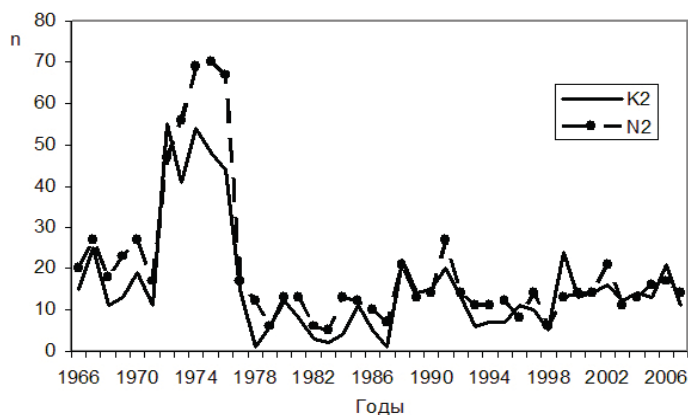


Рис.4. Число дней за год с опасной горимостью (верхний 10-й процентиль) по индексу Нестерова (N2) и по индексу KBDI (K2). Северо-Западный ФО

Рис. 3 и 4 показывают хорошее сходство многолетних изменений оценок потенциальной горимости леса по двум индексам. Однако попытки установить простое соотношение между этими индексами не дали результата. Зависимость между критическими значениями индексов, указанными ранее, графически показана на рис.5. Каждая отдельная точка на этом рисунке показывает соотношение между критическими значениями индексов Нестерова и KBDI. Совокупность точек, построенных по данным всех станций региона, показывает зависимости между двумя индексами. Из рис. 5 видно, что соотношение индексов графически можно представить двумя линиями линейной регрессии.

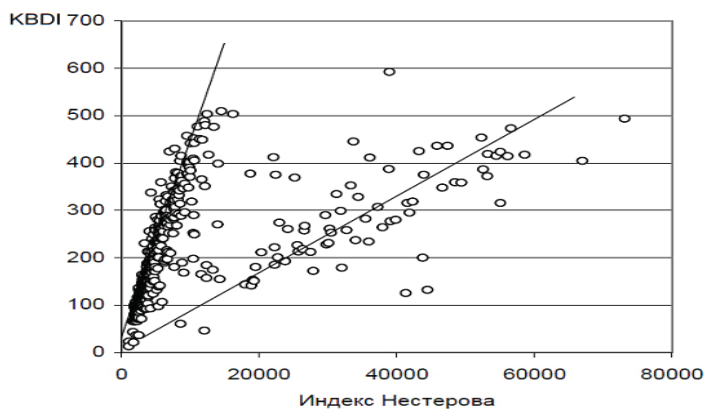


Рис.5. Зависимость между верхними 10-ми перцентилями KBDI и индекса Нестерова по станциям ЕТР за 1966–2007гг.

Нелинейная зависимость между индексами не позволяет получить простое соотношение между ними.

Очень важно определить, какие значения индексов являются критическими, при которых обычно происходит возгорание леса при наличии всех других условий возгорания. Выбор критического значения проводился на основе численных экспериментов на основе сравнения расчетных данных о числе пожароопасных дней при разных критериях и с использованием фактических данных о количестве лесных пожаров и площади, пройденной огнем в лесах. Фактические данные о лесных пожарах взяты из Статистического справочника [1].

Для определения класса опасности возгорания леса существуют критические значения индекса Нестерова (G), согласно которым высокая пожарная опасность наступает при $G > 1\,000$ [2]. Для индекса KBDI критического значения высокой горимости леса не существует, поэтому в настоящей работе ставилась задача определения критического значения KBDI и проверки критического значения для индекса Нестерова, выше которых возникает реальная угроза возгорания леса. Критические значения подбирались экспериментально на основе сравнения расчетных значений индексов и фактических данных о пожарах.

Задавались пробные критические значения индекса Нестерова от 100 до 2 400 с шагом 100 и пробные критические значения индекса KBDI с шагом 1 в интервале от 2 до 10 и с шагом 10 в интервале от 10 до 160. При каждом заданном пробном критическом значении вычислялось число дней в году с индексом выше этого значения. Подсчеты выполнялись по каждой станции региона, и проводилось осреднение по всем станциям. Среднее по региону число дней в году N_g с индексом выше заданного значения использовалось далее для сравнения с данными о лесных пожарах. Предполагалось, что количество дней N_g с гипотетически высокой горимостью леса должно коррелировать с фактическими данными о лесных пожарах, если критическое значение выбрано правильно. Таким образом, экспериментальные расчеты и сравнения с фактами были выполнены по 24 пробным критическим значениям индекса Нестерова и отдельно по 24 пробным критическим значениям индекса KBDI. Сравнялся многолетний ход N_g с погодичными данными о лесных пожарах. В каждом случае вычислялся коэффициент корреляции между многолетним ходом N_g и числом лесных пожаров в федеральном округе. И вычислялся коэффициент корреляции между многолетним ходом N_g и площадью, пройденной лесными пожарами в федеральном округе.

Из всех экспериментов наиболее правильным критическим значением признавалась такая величина индекса, при которой многолетний ход числа дней в году с гипотетически пожароопасными условиями показал наивысший коэффициент корреляции с многолетним ходом количества лесных пожаров или с многолетним ходом площади, пройденной огнем. В табл. 1 для четырех федеральных округов показаны критические значения индексов KBDI и Нестерова, при которых были получены наивысшие коэффициенты

корреляции с фактическими данными о лесных пожарах. Дополнительно в таблице приведены средняя температура за интервал года с положительными значениями температуры и количество осадков за тот же интервал, осредненные по региону.

Таблица 1

Критическое значение индекса горимости леса по KBDI и по Нестерову и коэффициент корреляции R между числом лесных пожаров и числом дней со значениями индекса выше критического. Оценки за 1989–2004 годы

Федеральный округ	Температура, °C	Осадки, мм	Индекс KBDI	R KBDI	Индекс Нестерова	R Нестерова
Северо-Западный	10,4	381	–	–	–	–
Центральный	13,7	479	10	0,39	1 100	0,72
Южный	16,5	504	120	0,54	2 300	0,59
Приволжский	15,1	379	40	0,36	1 800	0,31

Лесные пожары измеряются не только количеством очагов возгорания, но и площадью выгоревших лесов. Возгорание леса происходит при установившейся сухой и жаркой погоде, а дальнейшее горение и выгоревшая площадь не зависят от дальнейшей температуры и ограничиваются только выпадением атмосферных осадков. Поэтому от региональных особенностей распределения температуры и количества осадков успешность применения индексов может быть различной.

В табл. 2 показаны критические значения индексов KBDI и Нестерова, при которых были получены наивысшие коэффициенты корреляции с фактическими данными о площади, пройденной огнем в лесу.

Таблица 2

Критическое значение индекса горимости леса по KBDI и по Нестерову коэффициент корреляции R между площадью, пройденной пожарами, и числом дней со значениями индекса выше критического. Оценки за 1989–2004 годы

Федеральный округ	Температура °C	Осадки, мм	Индекс KBDI	R KBDI	Индекс Нестерова	R Нестерова
Северо-Западный	10,4	381	–	–	–	–
Центральный	13,7	479	10	0,29	700	0,63
Южный	16,5	504	–	–	2 000	0,14
Приволжский	15,1	379	10	0,34	200	0,25

Площадь, пройденная пожарами в меньшей мере, чем число лесных пожаров, согласуется с индексами горимости леса, об этом свидетельствуют низкие коэффициенты корреляции, представленные в табл.2, по сравнению с коэффициентами в табл.1. Критические значения индексов, при которых достигается наилучшее значение числа пожароопасных дней с площадью лесных пожаров, отличаются от соответственных значений индексов, при которых достигается наилучшее значение числа пожароопасных дней с числом лесных пожаров.

Принято считать, что высокая пожарная опасность наступает при индексе Нестерова $G > 1\,000$. Но из таблиц 1 и 2 видно, что по фактическим данным о лесных пожарах возгорание леса происходит преимущественно при других значениях G , различных в разных регионах. В Северо-Западном ФО пожаров с индексами Нестерова и KBDI не обнаруживается совсем ни с числом лесных пожаров, ни с лесной площадью, пройденной пожарами. Это, видимо, определяется относительно низкой летней температуры.

На территории ЦФО оценки по индексу Нестерова лучше отражают потенциальную горимость леса, чем по индексу KBDI. Наилучшим критическим значением возникновения числа лесных пожаров в ЦФО является значение индекса Нестерова 1 100, а не 1 000, как принято считать. На рис.6 показан многолетний ход числа дней в году со значениями индекса Нестерова выше 1 100 и числа лесных пожаров по фактическим данным.

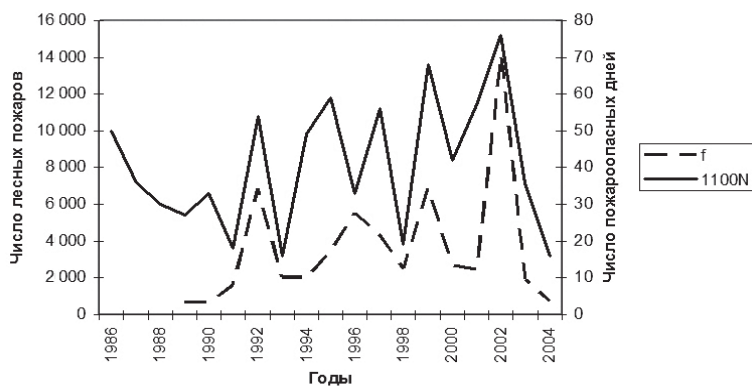


Рис. 6. Число пожароопасных дней по индексу Нестерова $> 1\,100$ и число лесных пожаров в Центральном ФО

Кривые на графике демонстрируют хорошее согласие. Итак, для ЦФО критерием высокой опасности возгорания леса следует считать значения индекса Нестерова выше 1 100.

Наилучшим критическим значением индекса KBDI оказалось число 10. Многолетний ход числа дней в году со значениями индекса $KBDI > 10$ и изменение числа лесных пожаров показаны на рис. 7. Корреляция между последними указанными кривыми слабее, чем показали аналогичные данные по критерию Нестерова, поэтому для ЦФО предпочтительней пользоваться индексом Нестерова.

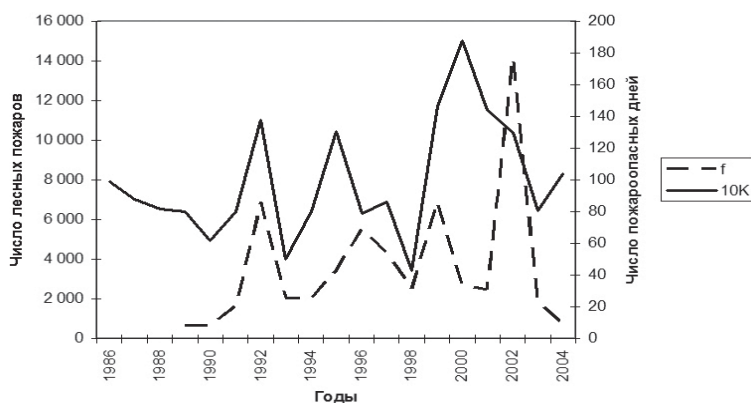


Рис. 7. Число пожароопасных дней по индексу $KBDI > 10$ и число лесных пожаров в Центральном ФО

В ЮФО хорошая связь индексов наблюдается с количеством лесных пожаров. Площадь, пройденная огнем, мало зависит от индексов. Наилучшим критическим значением индекса Нестерова для ЮФО является 2 300 или значение 120 для индекса KBDI. На юге Европейской территории России из-за высокой температуры и глубокого иссушения пожары, однажды возникшие, уже мало зависят от количества летних осадков. Продолжающиеся пожары выжигают большие площади лесных массивов независимо от дальнейшей погоды, поэтому площади лесных пожаров хуже коррелируют с индексами. Полученное критическое значение индекса Нестерова в ЮФО более чем в 2 раза превышает общепринятый критерий 1 000.

По числу пожаров наилучшим критическим значением индекса Нестерова для Приволжского ФО является 1 800 или значение 40 для индекса KBDI.

Полученные результаты показывают, что в различных регионах Европейской территории России необходимо использовать уточненные критические значения индекса Нестерова при определении угрозы возгорания леса. Возгорание леса и продолжительность лесных пожаров зависят от многих факторов. Их совокупность становится критической при различных погодных условиях, поэтому критические значения индекса Нестерова следует выбирать дифференцированно по регионам.

Индекс KBDI хуже, чем индекс Нестерова, отражает реальную угрозу лесных пожаров на Европейской территории России.

Литература

1. Думнов А. Д., Максимов Ю. И., Рошупкина Ю. В., Аксенова О. А. Лесные пожары в Российской Федерации (статистический справочник) / Под редакцией А. Д. Думнова и Н. Г. Рыбальского. – М.: НИИ-Природа, 2005. – 229 с.
2. Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды. – М.: Гидрометеиздат, 1975. – 15 с.
3. Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б. Климатические условия потенциальной горимости леса в России в XX и XXI веках // Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2007. – С. 137–151.
4. Keetch John J., Byram George. A drought index for forest fire control. – U.S.D.A. Forest Service Research Paper SE-38 November 1968 Res. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 32 p.
5. Flannigan M. D., Van Wagner C. E. Climate change and wildfire in Canada // Can. J. For. Res., 21. – 1991. – P. 66–72.
6. Houghton R. A. Biomass burning from the perspective of the global carbon cycle. In: Global biomass burning: Atmospheric, climatic, and biospheric implications. The MIT Press, Cambridge University Press, Cambridge. – 1991. – 129 p.
7. Kasischke E. S., Christensen N. L., Jr., Stocks B. J. Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests. Ecol. Appl. 5. – 1995. – P. 437–451.
8. Torn M. S., Fried J. S. Predicting the impact of global warming on woodland fire // Climatic Change 21. – 1992. – P. 257–274.

*Л.Н. Аристова, О.Н. Булыгина,
В.Н. Разуваев, Н.Н. Коршунова*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СПРАВОЧНЫХ ПОСОБИЙ ПО КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Рациональное ведение хозяйственной деятельности и ее планирование невозможно без учета как глобальных климатических изменений, так и климатических особенностей отдельных регионов. Создание справочных пособий по климатическим условиям отдельных регионов, включающих как основные метеорологические элементы, так и специализированные метеорологические характеристики, с которыми связаны производственные циклы и эффективность различных отраслей экономики, а также здоровье и условия проживания населения, представляет огромный практический интерес.

В настоящей статье описывается автоматизированная система формирования таких справочников, разработанная в отделе климатологии ГУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Исходные данные

Исходным материалом для получения климатических характеристик являются архивы Государственного фонда данных о состоянии природной среды, являющиеся результатом автоматизированных систем первичной обработки режимной метеорологической информации станций на базе ЭВМ различных поколений, в том числе и на базе ПЭВМ, а также информационная база банка данных «Метеорология и климат».

Архивные файлы записаны на технический носитель по правилам языка описания данных ЯОД, и к ним применимы все средства АИСОРИ [1], в том числе выборка данных за необходимый период наблюдений по заданному списку станций.

Используются четыре макета данных, которые различаются списком метеорологических элементов и структурой записи файла.

1. Выборка данных из архива «СУТКИ-76», содержащего обобщение на суточные интервалы времени результатов основных 8-срочных метеорологических наблюдений на территории РФ в объеме таблиц ТМ-1. Каждый файл содержит данные одной станции за период 1966–1984 гг. Начальная дата может быть и позднее 1 января 1966 г., если был перерыв в работе станции или она начала работу позднее. Одна логическая запись файла соответствует одному вектору наблюдений и состоит из призначных (ключевых) элементов (год, месяц, день) и информационных элементов (значений метеорологических элементов).

2. Выборка данных из архива «СУТКИ-ТМСС». Выборка также представляет совокупность нескольких файлов, каждый файл – данные одной станции за многолетний период начиная с 1984 г. Конечная дата периода не определена, так как архив постоянно пополняется текущими данными. К настоящему моменту архив пополнен по 2006 – 2008 годы.

3. Выборка данных из архива «ТММ1» (текущая метеорологическая информация станций по 8 срокам наблюдений начиная с 1977 по 1984 г.).

4. Выборка данных из архива «ТМС» (текущая метеорологическая информация станций по 8 срокам наблюдений начиная с 1984 по 2008 г.).

Содержание справочника

Каждый региональный климатический справочник содержит физико-географическое описание региона и историю метеорологических наблюдений в регионе.

Справочник содержит климатические характеристики по метостанциям на территории выбранного региона России. В него включаются многолетние статистики основных метеорологических элементов (температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, скорость ветра, атмосферные осадки, температура поверхности почвы, облачность, снежный покров, метеорологическая дальность видимости, солнечное сияние) и специальные расчетные комплексные климатические характеристики для различных отраслей экономики (сельское хозяйство, энергетика, добывающая промышленность, строительство, речной транспорт, железнодорожный транспорт, лесное хозяйство, здравоохранение и туризм).

В разделе характеристик климата по отдельным метеорологическим элементам из стандартных статистик по каждой станции для каждого месяца и в целом за год приводятся: среднее значение, максимальное значение и год его наблюдения, минимальное значение и год его наблюдения, среднеквадратическое отклонение как по месячным, так и по суточным данным, абсолютный максимум и абсолютный минимум с годом их наблюдения. Представлены также среднемноголетние значения в различные часы суток (суточный ход).

В этом разделе также содержатся:

- амплитуда суточного и годового хода температуры воздуха;
- повторяемость направлений ветра по 8 или 16 румбам, средняя месячная скорость ветра различных направлений, повторяемость скорости ветра по разным градациям;
- месячное количество осадков различной обеспеченности,
- суточные максимумы осадков различной обеспеченности, среднее число дней с различным количеством осадков;
- число ясных и пасмурных дней по общей и нижней облачности, повторяемость сплошной общей и нижней облачности (10 баллов без просвета в дневное время суток);
- повторяемость значений метеорологической дальности видимости ниже и выше указанного критического значения и внутри указанных градаций;
- даты установления и схода снежного покрова, где представлены первое появление и окончательный сход снежного покрова, образование и разрушение устойчивого снежного покрова.

В разделе «Сельское хозяйство» представлены следующие специализированные характеристики:

- даты начала, окончания и продолжительность сезонов со среднесуточной температурой воздуха устойчиво выше критического значения 0, 5, 10, 15 °С, характеризующие начало и конец зимы, начало и конец вегетационного периода холодостойких растений и озимых культур, активной вегетации сельскохозяйственных культур, теплую часть лета;
- период межсезонья, который определяется как интервал года по самым ранним и поздним датам устойчивого перехода среднесуточной температуры через 10 °С;
- даты первого осеннего заморозка и последнего заморозка весной;

- среднемноголетние суммы эффективных температур выше критических значений 5, 10, 15 °С, дающие представление о характере весны, о тепловых ресурсах вегетационного периода, о теплообеспеченности периода активного развития растений;

- среднее многолетнее значение числа дней с ночными заморозками;

- среднее многолетнее значение числа дней с оттепелью, отдельно с дневной оттепелью;

- повторяемость резких похолоданий (за сутки) с переходом через 0 °С;

- повторяемость ураганов (ветер силой >30 м/с);

- повторяемость случаев выпадения снега до установления отрицательных температур;

- повторяемость малоснежных и бесснежных дней при сильных морозах;

- гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова для характеристики засухи и избыточного увлажнения, который оценивает метеорологическую ситуацию по классификации: очень засушливо; засушливо, но недостаточно влажно; избыточно влажно;

- индекс засушливости Д. А. Педа, позволяющий судить о степени отклонения значений температуры и осадков от нормы (среднемноголетних значений) и классифицировать все случаи по степени засушливости или увлажнения, различая слабую, среднюю, сильную засуху и слабое, среднее, сильное избыточное увлажнение;

- суховей (ветер при высокой температуре воздуха и большом дефиците влажности) по классификации Е. А. Цубербиллер: слабый, средней интенсивности, интенсивный, очень интенсивный.

В раздел «Энергетика» помещены:

- даты начала и окончания отопительного периода и его продолжительности, которые определяются по датам устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 8 °С весной и осенью;

- повторяемость ясного (0–2 балла), полужасного (3–7 баллов), пасмурного (8–10 баллов) состояния неба по общей и нижней облачности;

- повторяемость резких понижений средней суточной температуры воздуха на 5 °С и более; повторяемость максимальной температуры воздуха выше 30 °С и минимальной ниже -30 °С;

- среднее многолетнее число дней с гололедом и мокрым снегом.

В раздел «Добывающая промышленность» вошли:

- повторяемость резких понижений средней суточной температуры воздуха на 5°C , повторяемость сильных морозов (-30°C и ниже),

- повторяемость максимальной скорости ветра выше заданных пределов,

- повторяемость снегопадов разной интенсивности при отрицательной максимальной температуре воздуха по градициям суточных сумм осадков.

В разделе «Строительство» приводятся:

- повторяемость средней и максимальной скорости ветра выше 12 м/с , при которой прекращают работу подъемные краны;

- ветровая нагрузка, определяемая по абсолютной максимальной скорости ветра для нормальных условий температуры воздуха и давления, которая помогает задать тип предполагаемого сооружения;

- температура воздуха, рассчитанная по формуле Чаплина по температуре воздуха за самый холодный месяц и абсолютному минимуму температуры, которая полезна при вычислении теплопотерь зданий и расчете систем отопления и вентиляции.

В раздел «Речной транспорт» включены:

- повторяемость средней и максимальной скорости ветра выше заданных пределов (>12 , >14 , >20 , $>24\text{ м/с}$);

- даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C весной и осенью.

В раздел «Железнодорожный транспорт» помещены:

- повторяемость максимальной температуры воздуха выше 25°C и минимальной температуры воздуха ниже -25°C ;

- повторяемости средней скорости ветра $> 15\text{ м/с}$;

- повторяемость случаев выпадения осадков более 20 мм за сутки в зимний период и более 30 , 50 мм в теплый период года.

В раздел «Лесное хозяйство» вошли:

- индекс горимости по формуле В.Г. Нестерова, который рассчитывается по данным температуры воздуха в 13 ч местного времени и дефициту точки росы и позволяет оценить пожароопасность региона по следующим классам опасности: горимость

отсутствует или малая, средняя, высокая, особо опасная и чрезвычайно опасная.

В разделе «Здравоохранение и туризм» представлены три биоклиматических комплексных показателя, от которых зависит здоровье и самочувствие человека:

- индекс суровости погоды по Бодману, который рассчитывается по среднесуточным значениям температуры воздуха и скорости ветра и разделяется по классам: мало суровая, умеренно суровая, суровая, очень суровая, жестко суровая, крайне суровая;
- индекс комфортности погоды (эффективная температура), которая рассчитывается по значениям относительной влажности и температуры воздуха и представлена для двух зон комфорта: России и США;
- парциальная плотность содержания кислорода в воздухе, рассчитываемая по значениям атмосферного давления, упругости водяного пара и температуры воздуха.

Материал в справочнике представляется в основном в табличной форме. По некоторым станциям помещается графический материал, например, по годовому ходу или многолетнему ходу некоторых метеорологических характеристик за центральные месяцы сезонов.

Также заложена возможность включения в справочник анализа современного изменения климата данного региона и сценариев их возможных изменений в условиях глобального потепления.

Программное обеспечение

Первый вариант программного обеспечения был разработан в 2000 г. и состоял из отдельных модулей, ориентированных на отдельные метеорологические элементы. Большинство модулей было написано на языке системы статистического анализа SAS (автор О.Н.Булыгина). Программные модули для расчета статистических характеристик по снежному покрову были созданы Е.Г. Апасовой. Часть модулей была написана на языке Дельфи-Паскаль (автор Б.Г. Шерстюков), включая модули прогноза специализированных характеристик климата на несколько десятилетий по опубликованным сценариям антропогенных изменений климата. Вывод статистических характеристик осуществлялся в коде ASCII. С помощью этих программ было получено справочное пособие по Калужской области [2].

Второй вариант программного обеспечения (автор Шерстюков Б. Г.) был разработан в 2006 г. на языке Дельфа-Паскаль. Он основан на алгоритмах первого варианта. Комплекс программ представлял собой единую автоматизированную систему обработки данных с одним управляющим файлом, в котором задавался перечень обрабатываемых метеорологических величин и расчетных параметров, а также список метеорологических станций для обработки. Один запуск управляющей программы позволял автоматически обрабатывать срочные данные и получать статистические характеристики по всем заданным станциям. Статистические характеристики, получаемые по данным суточного разрешения (характеристики снежного покрова, атмосферные явления и т.д.), рассчитывались по модулям первого варианта программного обеспечения. Достоинством второго варианта являлся вывод таблиц статистических характеристик в коде HTML, что облегчало подготовку справочных пособий к изданию. С помощью этого программного обеспечения были получены несколько справочных пособий [3 – 4].

Третий вариант программного обеспечения, основанный на алгоритмах и программных модулях предыдущих версий был разработан в 2008 г. на языке SAS (автор программ Л.Н. Аристова). Основное достоинство последнего варианта заключается в том, что программное обеспечение представляет собой автоматизированную систему формирования региональных справочников. Система организована в виде библиотек макропроцедур, что, во-первых, позволяет последовательно и непрерывно расширять состав программного обеспечения по мере необходимости включения новых характеристик в справочное пособие. Во-вторых, вновь создаваемые макропроцедуры без труда можно подключать к уже задействованным. В-третьих, макропроцедуры не зависят от конкретного содержания исходных файлов, а «настраиваются» на него по параметрам, задаваемым на входе макропроцедур. Имена исходных и результирующих файлов, имена выбираемых переменных, признак выборки периода лет для обработки (весь имеющийся период наблюдений или начальный и конечный год выборки лет), признак вида исходных данных (сроки или сутки) также задаются в виде входных параметров макропроцедур в управляющей программе. Таким образом, в этой автоматизированной системе заложена возможность выбора состава и структуры справочника в зависимости

от особенностей и потребностей региона, возможность варьировать период осреднения метеорологических характеристик.

Данная автоматизированная система включает четыре библиотеки макропроцедур:

MAC0 – ввод, контроль, корректировка данных;

MAC1 – расчет статистических характеристик, необходимых для справочника;

MAC2 и MAC3 – формирование таблиц регионального справочника в коде HTML.

MAC2 – для каждой метеостанции формируется таблица и ее название выносится в заголовок таблицы; MAC3 – статистические характеристики всех станций объединяются в одну таблицу, и каждой станции отводится отдельная строка таблицы.

Программы, осуществляющие непосредственный вызов процедур, объединены соответственно в разделы PROG_MAC0, PROG_MAC1, PROG_MAC2, PROG_MAC3.

Этапы формирования регионального справочника

Расчет и формирование таблиц регионального справочника осуществляется в несколько этапов:

1. Формирование необходимых каталогов;
2. Ввод исходных данных;
3. Контроль исходных данных;
4. Корректировка исходных данных;
5. Расчет необходимых статистических характеристик;
6. Вывод таблиц справочника в коде HTML;
7. Преобразование таблиц в таблицы редактора WORD .

Формирование каталогов

Этап «Формирование каталогов» является подготовительным для автоматизированной системы формирования региональных справочников.

Система использует следующие каталоги.

- Каталог станций нужного региона, включающий синоптический индекс, координатный номер, название, широту и долготу станции.

- Каталог барометрических высот для всех имеющихся станций России, включающий синоптический индекс станции; год,

месяц, день и срок наблюдения, с которого начинается изменение высоты барометра и на котором заканчивается изменение высоты барометра; новая высота барометра. Из него программным способом формируется каталог барометрических высот, объединяющий сведения всех станций заданного региона в отдельный файл, который и используется для приведения приземного давления к последней высоте барометра при расчете характеристик приземного давления.

- Каталог часовых поясов станций нужного региона (каждая станция – отдельный файл). Каталог включает: координатный номер станции, год и месяц наблюдения, номер часового пояса, тип участка станции, высоту станции над уровнем моря, начало местных суток, первый час от начала местных суток, первый срок от начала местных суток, широту и долготу станции. Из этого каталога программным способом формируется каталог часовых поясов, объединяющий сведения всех станций региона в один файл, который и используется при определении срока наблюдения, ближайшего к 13 ч поясного местного времени, а также сроков наблюдения, относящихся к дневному или ночному времени суток.

Ввод исходных файлов

1. Ввод исходных данных осуществляется постанционнно. Очередность ввода станции определяется каталогом станций заданного региона. Из каталога определяется координатный номер, по которому происходит поиск нужного файла, и синоптический индекс станции, который включается в призначные элементы результирующего файла. При обработке все станции объединяются в один общий файл. Обработка ведется по двум видам данных – суточным и срочным наблюдениям. Вводятся поочередно два периода наблюдений с 1966 по 1983 г. и с 1984 по последний имеющийся на текущий момент в архиве год наблюдения.

2. Файлы за первый и второй периоды наблюдения сливаются в один файл с общим периодом.

3. По каждой станции по фактическому наличию данных определяется фактический период наблюдений. Кроме того, реализована возможность формирования по каждому метеорологическому элементу более подробных сведений о полноте информации.

Контроль исходных файлов

В автоматизированной системе осуществляются два этапа контроля исходных данных.

1. Контроль файлов на предельные значения каждого элемента с формированием файлов с сомнительными данными.

2. Контроль файлов на согласование метеорологических элементов с формированием файла с забракованными величинами:

- средняя скорость ветра не должна превышать максимальную скорость ветра;
- атмосферное давление на уровне станции не должно превышать значение на уровне моря (если станция не ниже уровня моря);
- средняя температура воздуха (средняя температура поверхности почвы) не должна превышать максимальную и не должна быть меньше минимальной температуры воздуха (поверхности почвы).

После анализа файла с забракованными величинами проводится процедура корректировки данных.

Корректировка исходных файлов

Существует несколько возможностей корректировки данных:

- Конкретные исправления вводятся прямо с клавиатуры в соответствующие файлы в коде ASCII, а затем осуществляется перевод этих файлов в код SAS.

- Ошибочные данные в исходном файле программным способом заменяются на новые значения путем слияния исходного файла с предварительно сформированным файлом верных значений.

- Конкретные исправления вносятся в файл для конкретной станции, года месяца и дня, задав эти координаты и сами значения как параметры программы.

Способы корректировки данных постоянно расширяются.

Расчет статистических характеристик

Расчет статистических характеристик осуществляется по программам PROG_MAC1 с использованием макропроцедур MAC1.

В автоматизированной системе предусмотрены различные варианты организации вычислительного процесса. Возможно осуществлять расчеты сразу по всем разделам справочника или осуществлять поэтапное вычисление статистических характеристик по разделам: «Температура воздуха», «Температура поверхности почвы», «Атмосферное давление», «Ветер», «Влажность воздуха», «Атмосферные осадки», «Снежный покров», «Облачность», «Солнечное сияние», «Метеорологическая дальность видимости», «Сельское хозяйство», «Энергетика», «Лесное хозяйство», «Здравоохранение и туризм». Результирующие файлы, содержащие статистические характеристики, формируются в коде ASCII.

Формирование таблиц справочника в коде HTML

Формирование таблиц справочника осуществляется по программам PROG_MAC2 (вариант-1) и PROG_MAC3 (вариант-2) с использованием соответственно макропроцедур MAC2 и MAC3.

Макропроцедуры формируют необходимые для языка HTML «теги» по внедрению таблиц в WEB-страницу, размещению заголовка и тела документа, определению элементов таблицы, начала строки, размещению столбцов внутри строки, описанию заглавных ячеек, заданию различных параметров, атрибутов, аргументов и др. Вывод таблиц в коде HTML так же, как и в коде ASCII, можно осуществлять отдельно по каждому разделу или сразу всех таблиц справочника.

Таблицы в коде HTML легко читаются в редакторе WORD как документ HTML и при необходимости сохраняются как документ WORD.

Заключение

С помощью данной автоматизированной системы во ВНИИГМИ-МЦД были получены справочники по следующим субъектам Российской Федерации: Пензенская, Владимирская, Вологодская, Ивановская, Воронежская, Курская области и Ямало-Ненецкий автономный округ. При формировании раздела «Специализированные климатические характеристики» учтены

особенности структуры экономики данных регионов. Так, для Ивановской, Вологодской области и Ямало-Ненецкого автономного округа, имеющих на своей территории крупные судоходные реки, приводятся климатические характеристики, влияющие на работу речного транспорта. В Курской, Владимирской и Пензенской областях судоходных рек нет, но развит железнодорожный транспорт, для бесперебойной работы которого также нужно учитывать особенности регионального климата.

ВНИИГМИ-МЦД регулярно выполняет заказы на формирование региональных справочников по любой территории России в соответствии с действующим в институте положением о выполнении заявок. Правила подачи заявок имеются на сайте ВНИИГМИ-МЦД.

Литература

1. Веселов В. М., Прибыльская И. Р., Чураков Ю. П. Система управления данными для банков данных о состоянии природной среды // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 1981. – Вып. 75. – С. 5–24.
2. Шерстюков Б. Г., Булыгина О. Н., Разуваев В. Н. Современное состояние климатических условий Калужской области и их возможные изменения в условиях глобального потепления. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2001.
3. Шерстюков Б. Г., Разуваев В. Н., Булыгина О. Н. и др. Климат Чувашской Республики и его возможные изменения в условиях глобального потепления. Универсальные и специализированные характеристики. – Обнинск – Нижний Новгород – Чебоксары, 2006.
4. Шерстюков Б. Г., Разуваев В. Н., Булыгина О. Н. и др. Климат Самарской области и его характеристики для климатозависимых отраслей экономики. – Самара, 2006. – 168 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Шерстюков Б.Г.</i> Оценки точности физико-математических моделей ЕСНАМ4, HadCM3 и CGCM2 по данным на территории России.....	3
<i>Шерстюков Б.Г.</i> Оценки точности статистической модели ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» изменений климата по данным метеорологических наблюдений на территории России	20
<i>Шерстюков Б.Г., Разуваев В.Н.</i> Вычисление прогностических оценок распределения суточных значений температуры в статистической модели изменений климата.....	33
<i>Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С.</i> Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария Земли в последнее десятилетие	43
<i>Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н, Аристова Л. Н, Трофименко Л.Т.</i> Исследование климатических условий Ямало-Ненецкого автономного округа и их влияния на развитие нефтегазовой отрасли экономики.....	52
<i>Кузнецова В.Н., Швець Н. В.</i> Анализ изменений режима влажности воздуха на территории России.....	65
<i>Клещенко Л.К.</i> Волны тепла и холода на территории России.	76
<i>Шерстюков А.Б.</i> Запаздывание годового хода температуры почвогрунтов на глубинах до 320 см по данным метеостанций России	92
<i>Апасова Е.Г.</i> Пыльные поземки и бури на территории России.	97
<i>Апасова Е.Г.</i> Атмосферная мгла на территории России	118
<i>Неушкин А.И., Санина. А.Т., Иванова Т.Б.</i> Жаркая погода на Европейской части территории России.	134
<i>Клещенко Л.К., Ранькова Э.Я.</i> Характеристики блокирования в средней тропосфере: сопоставление оценок по данным реанализов NCEP/NCAR и JRA.	144

<i>Черных И.В., Алдухов О.А., Оржиховская В.А.</i> Мониторинг температуры атмосферы над полярными регионами России за 2007–2008 годы	159
<i>Черных И.В., Алдухов О.А.</i> Тренды температуры и содержания водяного пара в тропосфере над Западно- Сибирским районом Арктики	174
<i>Алдухов О.А., Черных И.В.</i> Метод восстановления профилей температуры и влажности в данных радиозондовых наблюдений	189
<i>Черных И.В., Алдухов О.А.</i> Изменение температур- но-влажностного режима в тропосфере над Антарктикой по данным Российских станций	205
<i>Семёнов В.А., Семёнова И.В., Аванесян Р.А., Дегтяренко Т.И.</i> Особенности климатически обусловленных изменений опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках горных территорий России	215
<i>Степаненко С.Р., Воронцов А.А.</i> Об измерении климатических характеристик	231
<i>Шерстюков Б.Г.</i> Потенциальная опасность лесных пожаров на Европейской территории России в оценках по метеорологическим данным	243
<i>Аристова Л.Н., Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н.</i> Автоматизированная система формирования региональных справочных пособий по климатическим условиям различных регионов Российской Федерации	253

Сборник научных трудов

Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД»

Выпуск 175

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Подписано к печати 14.12.2010 г. Формат 60х84/16.

Печать офсетная. Печ. л. 16,2. Тираж 300 экз. Заказ № 34
Отпечатано в ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», г. Обнинск, ул. Королева, 6.

Оценки точности физико-математических моделей ЕСНАМ4, HadCM3 и CGCM2 по данным на территории России Шерстюков Б.Г. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 3 – 19.

По результатам физико-математического моделирования среднемесячной температуры воздуха по моделям CGCM2, HadCM3 и ЕСНАМ4 в географических координатах метеорологических станций России вычислен средний годовой ход температуры за 1990–2007 гг. Выполнено сравнение с аналогичным многолетним годовым ходом наблюдаемой температуры воздуха на станциях, получены карты ошибок каждой из моделей на территории России по месяцам. В январе модель CGCM2 занижает температуру в Европе и Сибири на 3–8 °С и более и завышает на Дальнем Востоке на 3–8 °С. Модель ЕСНАМ4 в январе почти на всей территории России завышает температуру на величину до 3 – 6 °С. А модель HadCM3 преимущественно занижает температуру января на 3–8 °С и более. В июле модели CGCM2 и HadCM3 преимущественно занижают температуру, а модель ЕСНАМ4 на Европейской части России, в Западной Сибири и в северной половине Восточной Сибири завышает температуру, а на остальной части – занижает. Вычислены средние и среднеквадратические ошибки модельного годового хода температуры, обобщенные по России.

Оцениваются ошибки ансамбля моделей. Систематический сдвиг в описании норм и значительные среднеквадратические ошибки при описании среднего многолетнего годового хода вынуждают признать, что рассмотренные физико-математические модели не описывают реальный климат с необходимой точностью. Это ставит под сомнение их применимость для оценок будущего состояния климата.

Делается вывод о необходимости совершенствования физико-математических моделей на основе целенаправленного исследования эмпирических данных метеорологической сети станций.

Табл. 3. Ил. 9. Библиогр. 8.

УДК 551.583

Оценки точности статистической модели ГУ «ВНИИГМИ-МЦД» изменений климата по метеорологическим данным на территории России
Шерстюков Б.Г. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 20 – 32.

Описаны основные принципы построения статистической модели, основанные на классических и новых знаниях о ритмических закономерностях изменений атмосферной циркуляции во времени и по сезонам с учетом пространственных особенностей. Получены оценки точности трех вариантов статистической модели, отражающих последовательное развитие модели. На основе фактических данных наблюдений выполнено сравнение точности статистической модели климата с точностью ансамбля из трех лучших зарубежных физико-математических моделей.

Показано, что знания о ритмической структуре и ее статистическое описание позволяют прогнозировать колебания климата лучше ансамбля физико-математических моделей, но многолетний тренд лучше описывается в упомянутых моделях. Наилучшие результаты моделирования и прогноза изменений климата достигаются в статистической модели с введением в нее региональных трендов из ансамбля физико-математических моделей.

Табл. 2. Ил. 6. Библиогр. 3.

УДК 551.583

Вычисление прогностических оценок распределения суточных значений температуры в статистической модели изменений климата
Шерстюков Б.Г., Разуваев В.Н. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 33 – 42.

Предложена методика вычисления прогностического распределения суточных значений температуры воздуха при известном прогностическом значении среднемесячной температуры. Методика основана на корреляциях изменения повторяемости суточных значений в заданных грациях с изменениями среднемесячной температуры. Применяется методика для постанционных прогностических среднемесячных значений и автоматически учитывает региональные и сезонные различия в корреляциях изменений распределения суточной температуры.

Приведены примеры распределений рассчитанных по методике для аномально теплых и аномально холодных месяцев.

Ил. 4. Библиогр. 6.

УДК

Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария Земли в последнее десятилетие. Б.Г. Шерстюков, Р.С. Салугашвили. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 43 – 51.

Обсуждаются новые сведения об изменениях климата в Северном полушарии по данным о температуре воздуха над сушей и мировым океаном за последние годы в сравнении с колебаниями климата по историческим данным инструментальных наблюдений. Обнаружено замедление глобального потепления в начале XXI века и расширение областей в Северном полушарии с тенденциями похолодания климата после 2004 года. Обращено внимание на необходимость тщательного изучения естественных колебаний климата для корректировки существующих прогнозов антропогенных изменений климата.

Ил. 5. Библиогр. 9.

УДК 551.583

Исследование климатических условий Ямало-Ненецкого автономного округа и их влияния на развитие нефтегазовой отрасли экономики. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н, Аристова Л.Н, Трофименко Л.Т. Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып.175. С. .

Статья посвящена проблеме исследования условий погоды, вызывающих неблагоприятные и опасные явления, которые наносят социальный и экономический ущерб. На фоне глобального потепления в изменении основных метеорологических параметров прослеживаются региональные особенности, знание и учет которых очень важны для рационального использования природных ресурсов, правильного размещения производственных мощностей, эффективного развития экономики региона. В данной работе получены новые, с учетом данных метеорологических наблюдений за последние годы, сведения о специализированных климатических характеристиках, необходимых для безопасного и бесперебойного функционирования нефтегазового сектора энергетики в Ямало-Ненецком автономном округе.

Ил. 7. Библиогр. 5.

УДК 551.583:551.571

Анализ изменений режима влажности воздуха на территории России. Кузнецова В.Н., Швець Н. В. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 65 – 75.

Проведен анализ изменений аномалий парциального давления водяного пара по данным 1 765 станций по квазиоднородным климатическим районам России за период 1939–2007 гг. Получены сезонные и годовые коэффициенты линейного тренда по районам. Рассмотрены некоторые региональные особенности изменения режима влажности на территории России в зависимости от сезона года и географического района. Отдельно рассмотрена тенденция изменения влажности за периоды 1939–1965 гг. и 1966–2007 гг. Показана прямая зависимость изменений влажности воздуха и температуры. Полученные данные свидетельствуют об увеличении влажности за последние десятилетия.

Табл.3. Ил. 5. Библиогр. 12

УДК 551.582

Волны тепла и холода на территории России. Клещенко Л.К. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 76 – 91.

По данным среднесуточной температуры воздуха на 14 станциях западной половины России за период 1948–2006 гг. выделены волны тепла и холода – периоды существенного повышения/понижения температуры воздуха, рассчитаны их индивидуальные характеристики (продолжительность и амплитуда), а также интегральные характеристики температурного режима сезонов (число волн за сезон, их суммарная продолжительность и интенсивность). Выполнен статистический анализ всех характеристик, получены оценки линейного тренда.

Табл.11. Ил. 2. Библиогр. 8.

УДК 551.583

Запаздывание годового хода температуры почвогрунтов на глубинах до 320 см по данным метеостанций России. А.Б.Шерстюков. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 92 – 96.

По данным ежедневных наблюдений температуры почвогрунтов по 574 станциям России за 1977 – 2006 гг. проведено исследование проникновения волн тепла и холода на глубины до 320 см. При этом оценено запаздывание температуры на глубинах 160 и 320 см относительно температуры почвогрунтов на глубине 80 см.

Полученные результаты показывают, что в зоне мерзлоты сложились некоторые особые свойства почвогрунтов, отличные от свойств в других регионах, влияние этих свойств ослабляет проникновение волны годового хода из вышележащих слоев в нижележащие. В зоне мерзлоты наблюдается самый существенный сдвиг (запаздывание температуры), который, по-видимому, определяется именно наличием мерзлых пород. Величина сдвига может являться одним из показателей возможного наличия многолетней мерзлоты в регионе.

Ил. 3. Библиогр. 5.

УДК 551.501

Пыльные поземки и бури на территории России. Апасова Е.Г. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 97 – 117.

Статья посвящена анализу статистических характеристик пыльных поземков и пыльных бурь на территории России в 1977–2005 гг. Рассмотрена повторяемость мглы на территории Управлений Гидрометслужбы, выявлены особенности годового хода и изменчивость суммы дней по годам по материалам суточных обобщений на 1 699 станциях России. Установлено количество метеостанций в каждом управлении, на которых никогда не бывает пыльных поземков/бурь, и метеостанций с наибольшим их количеством.

Табл.14. Ил. 1. Библиогр. 4.

УДК 551.501

Атмосферная мгла на территории России. Апасова Е.Г. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 118 – 133.

Статья посвящена анализу статистических характеристик атмосферной мглы на территории России в 1977–2005 гг. Рассмотрена повторяемость мглы на территории управлений Гидрометслужбы, выявлены особенности годового хода мглы, изменчивость суммы дней с мглой по годам по материалам суточных обобщений на 1763 станциях России. Установлено количество метеостанций в каждом управлении, на которых никогда не бывает мглы, и метеостанций с наибольшим количеством дней с мглой и показан их вклад в экстремальные по мгле годы – 1985, 1998, 2002 и 2003.

Табл.7. Ил. 2. Библиогр. 4.

УДК 551.524

Жаркая погода на Европейской части территории России. Неушкин А.И., Санина А.Т., Иванова Т.Б. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2010. Вып. 175. С. 134 – 143.

Подготовлены временные ряды по максимальной температуре воздуха 30° и выше за 36-летний теплый период (с 1971 по 2006 г.) по 32 станциям, равномерно распределенным по четырем федеральным округам Европейской части России. На основании этих данных рассчитаны и проанализированы характеристики жаркой погоды – повторяемость числа дней и периодов различной продолжительности жаркой погоды с мая по август.

Тренд погодичных значений числа жарких дней показывает увеличение числа жарких дней за последние годы во всех округах Европейской части РФ, однако из-за большой протяженности территории и разнообразия природных условий количественные изменения проявляются неравномерно.

Табл.3. Ил. 2. Библиогр. 7.

УДК 551.515.7

Характеристики блокирования в средней тропосфере по данным реанализов NCEP/NCAR и JRA. Клещенко Л.К., Ранькова Э.Я. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 144 – 158.

Сопоставление срочных полей геопотенциала H_{500} и их многолетних месячных статистик (средних значений и среднеквадратических отклонений) за 1979–2006 годы из массивов реанализов NCEP/NCAR и JRA показало, что различия среднемноголетних полей в отдельных точках превышают 5 дам, а локальные разности срочных полей могут достигать ± 40 дам.

По данным геопотенциала H_{500} обоих массивов реанализов для четырех календарных сезонов выделены эпизоды блокирования в широтных зонах $55\text{--}65^\circ$ с. ш. и $45\text{--}55^\circ$ ю. ш., рассчитаны сезонные интегральные характеристики (индексы) блокирования и проведено их сопоставление. Обнаружено, что даже не очень большие различия в полях геопотенциала H_{500} могут приводить к существенным различиям в локальных характеристиках блокирующих процессов.

Табл. 4. Ил. 10. Библиогр. 6.

УДК 551.587(985+99)

Мониторинг температуры атмосферы над полярными регионами России за 2007–2008 гг. Черных И.В., Алдухов О.А., Оржеховская В.А. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 159 – 173.

В работе приведен анализ аномалий для температуры за 2007–2008 гг. для стандартных изобарических поверхностей в нижней (850 гПа) и средней (500 гПа) тропосфере и нижней стратосфере (100 гПа). Расчеты выполнены на основе проконтролированного аэрологического массива АЭРОСТАБ за период наблюдений 1978–2008 гг. Исследования проведены на примере действующих российских полярных станций с наиболее полными рядами наблюдений, расположенными в Антарктике и различных климатических районах Арктики: Североевропейском, Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском. Оценки аномалий температуры получены относительно периода наблюдений 1978–2008 гг.

Ил. 8. Библиогр. 11.

УДК 551.587(985)

Тренды температуры и содержания водяного пара в тропосфере над Западно-Сибирским районом Арктики. Черных И.В., Алдухов О.А. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 174 – 188.

Для исследования климатических изменений температуры и влажности в Арктической тропосфере за период 1964–2007 гг. получены оценки трендов для аномалий температуры и содержания водяного пара в столбе воздуха для стандартных изобарических поверхностей в тропосфере над северо-западным районом Сибири. Количественные оценки получены на примере прибрежной станции Остров Диксон и континентальной станции Салехард. Расчеты проведены на основе глобального проконтролированного массива аэрологических зондирований КАРДС. Оценки трендов получены с помощью точечного метода для многолетних года, многолетних сезонов и многолетних месяцев для сроков 00 GMT и 12 GMT и за сутки в целом.

Табл. 9. Ил. 2. Библиогр. 11.

УДК 551.515.7

Метод восстановления профилей температуры и влажности в данных радиозондовых наблюдений. Алдухов О.А., Черных И.В. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 189 – 204.

В данной работе обсуждается проблема возможности более надежного использования неполных по высоте радиозондовых профилей для расчетов климата и оценок климатических изменений и метода «продолжения» таких профилей для температуры и содержания водяного пара в столбе воздуха. Показана актуальность разработки метода «продолжения» неполных радиозондовых профилей и преимущества работы с использованием полных профилей, как наблюдаемых, так и продолженных/проэкстраполированных. Расчеты проведены на основе глобального проконтролированного массива аэрологических зондирований КАРДС для трех станций (71082, 70026, 04220).

Табл. 8. Ил. 3. Библиогр. 9.

УДК 551.587(985)

Изменение температурно-влажностного режима в тропосфере над Антарктикой по данным Российских станций. Черных И.В., Алдухов О.А. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 205 – 214.

В данной работе приведены оценки долгопериодных изменений температуры и содержания водяного пара в столбе воздуха в тропосфере над восточной частью Антарктиды, полученные на основе данных действующих российских аэрологических станций, Новолазаревская (с 1969 по 09.2007 г.) и Мирный (с 1982 по 09.2007 г.). Оценки трендов получены с помощью точечного метода для различных временных масштабов: месяцев, сезонов и за год на основе массива КАРДС.

Табл. 3. Ил. 2. Библиогр. 9.

УДК [551.583:556.53]:[556.116+551.311.8]

Особенности климатически обусловленных изменений опасных и неблагоприятных гидрологических явлений на реках горных территорий России. Семёнов В.А., Семёнова И.В., Аванесян Р.А., Дегтяренко Т.И. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 215 – 230.

Рассматриваются результаты оценок изменения повторяемости опасных наводнений, паводков, маловодий, селевых потоков на реках горных территорий, анализируются метеорологические факторы, обуславливающие эти изменения. На примере Алтая показано, что увеличение опасности наводнений в периоды весенних половодий на горных реках происходит в результате повышения интенсивности весеннего потепления с одновременным охватом снеготаяния и поступления в русла рек талых вод из разных высотных зон, а также увеличение количества весной осадков. Увеличение ливневых осадков в летне-осенний период способствует росту повторяемости опасных паводков на малых и средних реках гор и предгорий, селей в горах, а увеличение продолжительности летней межени и засухливых периодов способствует возрастанию убытков от маловодий на реках. Климатически обусловленные изменения водности рек оказывают влияние на изменение качества их воды.

Табл. 4. Ил. 7. Библиогр. 6.

УДК 551.09.33

Об измерении климатических характеристик. Степаненко С.Р., Воронцов А.А. Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2010., Вып. 175. С. 231 – 242.

Методы определения эмпирических климатических характеристик не учитывают колебания локальных климатов с периодом менее 30 лет и, в отличие от физической теории, рассматривают глобальный климат как сумму локальных климатов. Глобальные характеристики (среднегодовые по полушарию) не учитывают локальные особенности климата, поэтому характер глобальных колебаний часто противоречит характеру колебаний локальных климатов. Чтобы устранить несогласованность между физическим пониманием климата и его эмпирическими оценками, в статье предлагается измерять (определять) климат как функцию с разделенными переменными по пространству и по времени. Показано, что в этом случае необходимо измерять (определять) 24 климатических характеристики. Изменение климата можно понимать как переход системы в область нового аттрактора в 24-мерном пространстве, в отличие от колебаний климата, когда система остается в одной и той же области аттрактора. Промежуточные результаты обработки эмпирических данных можно использовать для разработки методов прогноза погоды и особо опасных явлений.

Ил. 1. Библиогр. 12

УДК 551.515.7

Потенциальная опасность лесных пожаров на Европейской территории России в оценках по метеорологическим данным. Б.Г.Шерстюков Б.Г. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 243 – 251.

Потенциальная опасность лесных пожаров в значительной мере определяется погодными условиями. Для ее оценки в России применяют индекс Нестерова, а за рубежом – индекс KBDI. В работе выполнено сравнение оценок по каждому индексу с фактическими сведениями о лесных пожарах. Показано, что в целом индекс Нестерова позволяет точнее определить степень потенциальной опасности лесных пожаров, по сравнению с индексом KBDI. Установлено, что рекомендованные в Методических указаниях критерии классов пожарной опасности не оптимальны для Европейской территории России и существенно различны по регионам. Для индекса Нестерова в качестве критических значений высокой опасности возгорания леса следует применять значения 1100 для Центрального федерального округа (ФО), 2300 – для Южного ФО и 1800 для Приволжского ФО вместо рекомендованного универсального значения 1000.

Табл. 2. Ил. 7. Библиогр. 8.

УДК 551.583 20

Автоматизированная система формирования региональных справочных пособий по климатическим условиям различных регионов Российской Федерации.. Аристова Л.Н., Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н. Труды ГУ «ВНИИГМИ-МЦД». 2010. Вып. 175. С. 253 – 264.

Рассматриваются основные принципы автоматизированной системы формирования региональных справочных пособий по климатическим условиям различных регионов Российской Федерации, ее функциональная структура, организационное и программное обеспечение. Приводятся примеры ее использования

Библиогр. 4.

