

**Современные глобальные и региональные изменения климата****Ю.П. Переведенцев, Э.П. Наумов, К.М. Шанталинский****Казанский государственный университет**

Проблема глобальных и региональных изменений окружающей среды и климата становится в настоящее время как никогда актуальной в связи с усиливающимся влиянием антропогенных факторов, в частности, с продолжающимся ростом концентрации  $\text{CO}_2$  и других парниковых газов в атмосфере. Согласно новейшим расчетам с использованием глобальных климатических моделей в течение XXI в. средняя глобальная температура воздуха может повыситься на  $1,5-5,8^\circ\text{C}$ , если концентрация  $\text{CO}_2$  удвоится [10]. Отметим, что наиболее яркой особенностью изменения климата минувшего XX столетия является его глобальное потепление. По имеющимся оценкам [7,17] средняя годовая глобальная температура приземного слоя воздуха за последние 100 лет увеличилась на  $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ . Анализ ее временных рядов позволил выявить неоднородный характер потепления: в период 1910-1946 гг. происходило потепление, в 1947-1975 гг. - слабое похолодание, начиная с 1976 г. отмечается фаза наиболее интенсивного потепления, которое продолжается и по настоящее время.

Авторами [2] выявлена факторная обусловленность отмеченных колебаний средней годовой температуры воздуха (СГТВ). Так, потепления XX столетия развивались на фоне увеличения частоты и интенсивности теплой фазы Южного колебания (Эль-Ниньо), а в период похолодания 1947-1975 гг. в поведении Южного колебания преобладала тенденция к увеличению частоты повторения и интенсивности его холодной фазы (Ла-Ниньо). Определенный вклад в понижение температуры внесли и другие факторы: снижение прозрачности атмосферы, увеличение ледовитости Арктики. В этой работе для объяснения многолетней динамики СГТВ использовались данные геофизического мониторинга – средние годовые величины чисел Вольфа, индексов южного колебания и геомагнитной активности, продолжительности суток, концентрации  $\text{CO}_2$ , ледовитости Арктики и прозрачности атмосферы.

Установлено, что темпы потепления за 1856 – 2001 гг. составили для Земли в целом  $0,41^\circ\text{C}/100$  лет, для Северного полушария –  $0,39^\circ\text{C}/100$  лет, Южного –  $0,43^\circ\text{C}/100$  лет (рис.1). Кроме того, вековой ход средних годовых температур воздуха в Южном полушарии отличается большей устойчивостью и большей продолжительностью фаз потеплений, чем похолоданий. При этом со второй половины XX в. скорость потепления в Южном полушарии заметно уменьшилась и оказалось почти в два раза меньше, чем в Северном. Детальный многофакторный (7 компонентов) анализ показал, что природа генезиса климатической изменчивости в каждом полушарии различна.

Согласно климатическим прогнозам темпы глобального потепления в XXI в., как минимум, удвоятся [3].

Особенностью потепления последних десятилетий, зафиксированного мировой сетью инструментальных метеорологических наблюдений, согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), является то, что оно охватывает также и тропическую зону. При этом в умеренных и высоких широтах Северного полушария оно выражено главным образом в холодное время года, тогда как в период 1910 – 1940 гг. потепление происходило одновременно зимой и летом.

Начиная с 1856 г. и по настоящее время средняя по Северному полушарию температура воздуха, по расчетам авторов данной статьи, повышается согласно уравнению линейного тренда  $y = 0,0046t + 14,155$  ( $R^2 = 0,5701$ ). Важно отметить, что в

1976 г. температура имела минимальное значение  $14,3^{\circ}$ , а в последующие годы наблюдается ее неуклонный рост до  $15,3^{\circ}$  в 1998 г., т.е. почти на  $1^{\circ}\text{C}$  за 25 лет.

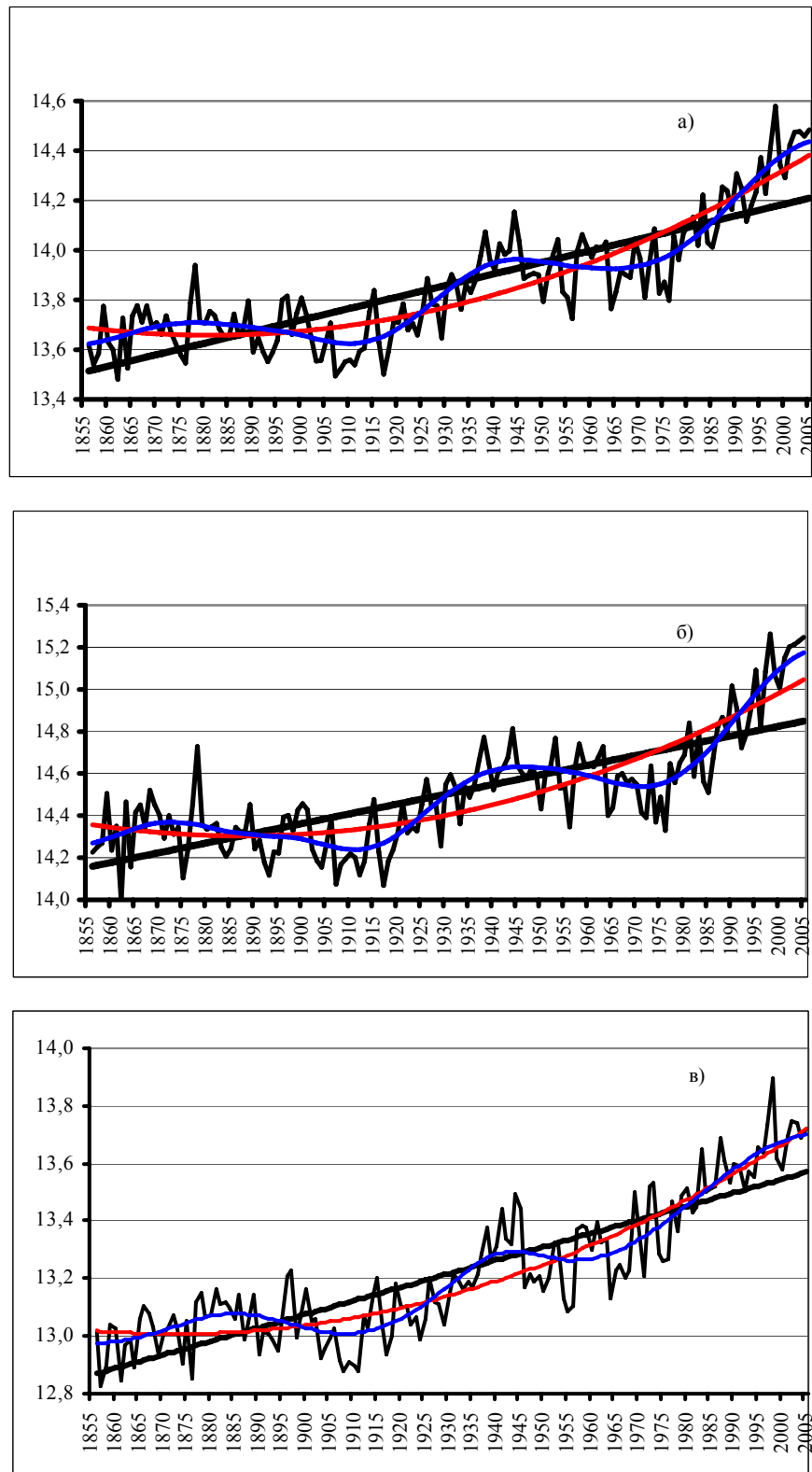


Рис.1. Многолетний ход температуры воздуха и ее долгопериодной компоненты (более 30 лет); линейный и квадратичный тренды: а) глобальная температура, б) температура Северного и в) Южного полушарий

В первую половину XX столетия, в период естественного потепления, зафиксированный первый максимум в 1943 г. составил  $14,81^{\circ}$ . Самая низкая температура за исследуемый период отмечалась в 1862 г. ( $14,0^{\circ}\text{C}$ ), т.е. в XIX столетии.

Межгодовые колебания на восходящей ветви температурной кривой в конце XX в. не превышали  $0,5^{\circ}\text{C}$ . В последние десятилетия постоянно увеличивается доля площади, занятая положительной аномалией средней годовой температуры воздуха в Северном полушарии. Эта доля в 2005 г., по оценке авторов, составила  $\sim 88\%$  площади всего полушария, т.е. практически почти на все полушарие распространяется положительная аномалия.

Климат Земли меняется как в региональном, так и в глобальном масштабе. Согласно данным климатического мониторинга процесс глобального потепления в последние годы заметно ускоряется. Десять самых теплых лет за время инструментальных наблюдений (с 1860 г.) приходятся на период начиная с 1983 г., а семь из них – на 1990-е гг. За период с 1950 по 1993 г. ночная минимальная температура воздуха над сушей повысилась примерно на  $0,2^{\circ}\text{C}$  за десятилетие, что почти вдвое превысило повышение дневной максимальной температуры. Это привело к удлинению безморозного периода в средних и высоких широтах. Количество атмосферных осадков в XX столетии увеличивалось на  $0,5\text{-}1\%$  за десятилетие в большинстве районов высоких и средних широт Северного полушария, при этом во второй половине столетия возросла повторяемость сильных осадков. Произошло уменьшение площади снежного покрова примерно на  $10\%$ .

Последние 10 лет (1995-2004 гг.), за исключением 1996 г., занимают место среди самых теплых лет за все время регистрации температуры. Пять самых теплых лет среди указанных десяти в порядке от более теплого к более холодному расположились следующим образом: 1998, 2002, 2003, 2004 и 2001. В 2004 г. глобальная поверхностная температура превысила среднюю годовую величину за период 1961-1990 гг. ( $14^{\circ}\text{C}$ ) на  $0,44^{\circ}\text{C}$ . Это позволило 2004 г. занять четвертую позицию среди самых теплых лет с 1861 г., сразу вслед за 2003 г. ( $+0,49^{\circ}\text{C}$ ). По неофициальным данным 2005 г. оказался теплее 2004 г.

В Северном полушарии 1990-е гг. явились самым теплым десятилетием, когда среднее превышение составило  $0,38^{\circ}\text{C}$ . Однако превышение поверхностной температуры, осредненное за последние пять лет (2000-2004 гг.), было значительно выше ( $0,58^{\circ}\text{C}$ ).

В XX в. увеличение глобальной поверхностной температуры варьировало в пределах  $0,6\text{ - }0,7^{\circ}\text{C}$ . Скорость изменения после 1976 г. приблизительно в три раза выше, чем за последние сто лет в целом [5].

Одним из индикаторов потепления климата является уменьшение толщины паковых льдов Арктики: с  $3,12\text{ м}$  в 1960-е гг. до  $1,8\text{ м}$  в 1990-е гг., а площадь распространения сезонных морских льдов постоянно сокращалась на  $2,8\%$  за 10 лет. Аналогичные изменения наблюдаются на шельфовых ледниках Антарктиды [11].

В 2004 г. величина протяженности морского льда в Арктике оставалась ниже средней многолетней величины. В сентябре 2004 г. она была на  $13\%$  ниже средней величины за период 1973-2003 гг. Информация, полученная со спутников, говорит о том, что за последние два с половиной десятилетия площадь морского льда в Арктике сократилась в целом на  $8\%$ , а 2004 г. оказался третьим годом подряд, когда потери морского льда достигали экстремальных величин. Дефицит морского льда в сентябре был особенно очевиден к северу от Аляски и Восточной Сибири, т.е. площадь морского льда реагирует на разнообразные климатические факторы [5].

Вместе с тем отмечается, что для состояния окружающей среды и человека большее значения имеют не плавные изменения температуры на Земле, а возникновение климатических и погодных контрастов на региональном уровне, что приводит к

возникновению экстремальных ситуаций – сильных морозов и засух, штормов, снегопадов, ливней и т.д.

За последние 20 лет атмосфера Арктики в целом потеплела, особенно в двух регионах – на северо-западе Канады – Аляски и севере Восточной Сибири. Если в 30-е гг. XX в. потепление наблюдалось лишь на высоких широтах из-за активного поступления воздуха с низких широт, то современное потепление Арктики отражает тренд потепления в масштабах полушария.

Глобальное потепление стало проявляться в широком круге природных процессов, в частности, в сроках образования и разрушения ледяного покрова на реках, важных индикаторах климата переходных сезонов года. На большинстве рек России отмечается статистически значимое смягчение ледового режима, т.е. сроки появления льда становятся более поздними, а сроки вскрытия – более ранними. Наибольший линейный тренд сроков появления льда от 11 до 20 сут/100 лет отмечен на Немане, Днепре, Дону и Нижней Волге. На реках бассейнов Оки и Камы он составил 5-10 сут/100 лет. Эти изменения ледового региона происходят под влиянием изменений регионального климата [4].

Произошли существенные изменения агроклиматических условий за последние десятилетия: увеличение сумм осадков в европейской части РФСЕЧР, повсеместное увеличение повторяемости теплых зим. Влагозапасы метрового слоя почвы в июле (1970-1990 гг.) в результате увеличения осадков теплого периода года и уменьшения испаряемости возросли на ЕЧР в среднем на 26%. Однако изменение полей температуры и осадков носит сложный характер [19].

Согласно Э.Я. Раньковой [17], в России в XX столетии во все сезоны наблюдался рост температуры, по своей величине превосходящий оценки для земного шара и Северного полушария в целом. В последнем 50-летию тренд снизился для теплого периода, но существенно усилился для холодного. В России в XX в. интенсивность засушливости увеличивалась во все сезоны, но в большей мере – в холодный период.

Интенсивность потепления за 100-летие (1901-2000 гг.) составила в среднем для территории России  $0,9^{\circ}\text{C}/100$  лет. Максимум потепления отмечен в 1995 г. Наиболее интенсивный тренд – в Прибайкалье – Забайкалье ( $3,5^{\circ}\text{C}/100$  лет). Для России в целом потепление более заметно зимой и весной (тренд составил соответственно  $4,7^{\circ}\text{C}/100$  лет и  $2,9^{\circ}\text{C}/100$  лет). Отмечается существенная пространственная неоднородность изменений климата на территории России, в теплый период районы потепления климата чередуются с районами заметного похолодания.

В последние 50 лет отмечается тенденция к уменьшению годовых и сезонных сумм осадков в целом для России и для ее восточных регионов. Для европейской территории страны отмечается слабая тенденция к увеличению суммы осадков.

Модели климата предсказывают рост глобально осредненной суммы осадков с увеличением концентрации  $\text{CO}_2$  (на 10-30% при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$ ).

В последние годы большое внимание уделяется моделированию будущих изменений климата с помощью глобальных объединенных моделей общей циркуляции атмосферы и океана. Анализ экспертами этих результатов привел к выводу, что повышение средней глобальной температуры воздуха вблизи земной поверхности с 1990 по 2100 г. может оказаться приблизительно в два-десять раз больше средней величины потепления, наблюдавшегося в XX столетии, причем прогнозируемые темпы потепления могут оказаться и самыми высокими за последние 10 тысяч лет.

Согласно теоретическим представлениям потепление климата должно сопровождаться увеличением влажности атмосферного воздуха, а также количества атмосферных осадков. Расчеты коэффициентов корреляции между среднемесячными значениями сумм осадков, относительной влажностью и температурой на ст. Казань, университет показали, что в отдельные месяцы связи между температурой и осадками оказались значимыми. Так, для периода 1901 – 1930 гг. в августе коэффициент корреляции составил  $-0,67$ . Коэффициент корреляции между среднемесячными

значениями относительной влажности и температуры в ряде случаев достигает больших значений. Например, для периода 1961-2003 гг. в январе  $r=0,70$ . Важно отметить, что в период 1961 – 2003 гг., когда преобладали теплые зимы, коэффициент корреляции имел высокие положительные значения.

Естественно, возникает вопрос: каковы же причины современного глобального потепления и что следует ожидать в будущем? Однозначного ответа на этот вопрос ныне не существует. В настоящее время широко обсуждаются в основном две версии объяснения происходящего потепления – антропогенная (рост температуры за счет быстрого повышения концентрации парниковых газов – парниковый эффект) и естественная.

Первой позиции придерживается МГЭИК, подготовившая доклад по этой проблеме [9]. Недавней ратификацией Киотского протокола Россия, по существу, признала эту версию официально.

Согласно другой (конкурирующей) версии глобальное потепление, наметившееся со времени завершения малой ледниковой эпохи, объясняется в основном действием факторов естественного происхождения. Сторонники указанной концепции [8] указывают, что период наиболее интенсивного роста глобальной температуры XX столетия (90-е гг.) приходится на восходящую ветвь 60-летнего колебания, выявленного ими в индексах, характеризующих термическое и циркуляционное состояние атмосферы. При этом высказывается предположение, что современные колебания климата являются следствием нелинейных реакций климатической системы (КС) на квазипериодические внешние воздействия (чандлеровские биения полюсов Земли, циклы лунно-солнечных приливов и солнечной активности, циклы обращения наиболее крупных планет Солнечной системы вокруг общего центра и т.п.).

Такая неопределенность объясняется исключительной сложностью КС с ее многочисленными обратными связями между компонентами и многомасштабной нелинейной динамикой, дефицитом информации о ее состоянии [13].

Большое внимание в последние годы стало уделяться природным и социально-экономическим последствиям глобальных и региональных изменений климата. Четко прослеживается антропогенное воздействие на земную поверхность, океаны, побережья и атмосферный воздух, а также на биоразнообразие, круговорот воды и биогеохимические циклы, которые выходят за пределы природной изменчивости. По мнению В.И. Осипова [15], изменение температуры воздуха вызывает развитие ряда процессов в геосферных оболочках Земли, способных оказать как положительное, так и отрицательное воздействие на природную среду. С последним связано снижение безопасности общества и рост ущербов от стихийных бедствий. Так, в 1995 – 1999 гг. ежегодных крупных стихийных бедствий по отношению к 1965 – 1969 гг. в среднем стало в 3 раза больше. Только в Азиатско-Тихоокеанском регионе за последние 30 лет погибло почти 1,4 млн., пострадало же около 4 млрд. человек [15]. Огромный ущерб понесли США, Мексика, Куба и другие страны от тропических ураганов, разыгравшихся осенью 2005 г.

Согласно данным международной группы экспертов по изучению изменений климата (МГЭИК), температура воздуха у поверхности Земли возросла в течение XX столетия примерно на  $0,6^{\circ}\text{C}$ . При этом наиболее интенсивно потепление проявилось на территории России (в первую очередь Сибири) и на Аляске в зимний период. Так, в Сибири во второй половине XX в. отмечен температурный тренд  $0,4\text{ K}/10\text{ лет}$  [14]. Это привело к ряду важных последствий – сократился отопительный период и увеличилась продолжительность вегетационного. В условиях потепления последних десятилетий отмечается увеличение количества экстремально жарких дней, дней с интенсивными осадками и с сильными ветрами при уменьшении экстремально холодных дней. Именно климатические экстремумы создают предпосылки для возникновения чрезвычайных ситуаций [12,23]. В статье Ю.П. Переведенцева, М.А. Верещагина и др. [16] рассмотрены особенности пространственно-временной изменчивости температуры воздуха на

территории Северного полушария (СП) и дана оценка последствиям глобального потепления климата в различных регионах Северного полушария до высоты изобарической поверхности 10 гПа. В частности, отмечено, что в приатлантической Арктике к северо-западу от Гренландии в 1958-2003 гг. наблюдалось сильное похолодание, а северо-восточнее Гренландии, наоборот, – потепление, что объясняется характером циркуляции (углубление Исландского минимума), выявлена положительная тенденция температуры над северо-западом Северной Америки, усиление скорости зонального ветра в период фазы ЭНЮК в субтропической зоне Тихого океана, проанализированы тренды ряда биоклиматических характеристик и др.

В настоящей статье главное внимание уделяется изучению неустойчивых в климатическом отношении территорий Северного полушария (СП), где создаются потенциальные предпосылки для возникновения различных природных катастроф, которые все чаще отмечаются системой наблюдений. Так, в 1990-1994 гг. среднее годовое количество катастроф возросло по сравнению с 1965-1969 гг. почти в 3 раза [15]. С этой целью нами рассматриваются аномалии температуры различной интенсивности.

Исходным материалом стали ежедневные данные реанализа температуры воздуха в узлах регулярной географической сетки за последние 58 лет (1948-2005 г.) При этом следует иметь в виду, что данные реанализа первых 10 лет менее надежные, чем отнесенные к более позднему периоду 1958-2005 гг.

В узлах регулярной географической сетки для каждого месяца и года указанного периода определялись аномалии температуры как разности между фактической температурой и климатической нормой (средней за 1948-2005 гг.), величины СКО ( $\sigma$ ). При этом выделялись крупные ( $\Delta T_i \geq \sigma$ ) и очень крупные ( $\Delta T_i \geq 2\sigma$ ) аномалии. Затем с учетом полученных данных в отдельных узлах рассчитывались площади, занятые аномалиями температурного поля того или иного знака как на территории всего Северного полушария, так и на территориях его составных частей.

В качестве интегральной характеристики аномальности температурного поля применялись параметр Багрова ( $K$ ) и параметр Токарева ( $K_T$ ), позволяющий оценивать не только величину аномалии, но и ее знак [21]:

$$K = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{\Delta T_i}{\sigma_i} \right)^2 ; \quad (1)$$

$$K_T = \frac{1}{N+M} \left[ \sum_{i=1}^N \left( \frac{\Delta T_{+i}}{\sigma_i} \right)^2 - \sum_{i=1}^M \left( \frac{\Delta T_{-i}}{\sigma_i} \right)^2 \right], \quad (2)$$

где  $N$  – количество точек с положительной аномалией температуры  $T_+$ ;  $M$  – количество точек с отрицательной аномалией  $T_-$ .

Как следует из формулы (2), если площади, занимаемые аномалиями одного знака, примерно равновелики, то параметр  $K_T$  не достигает больших значений. В том случае, когда площадь, занятая аномалией одного знака, превышает 70%, этот параметр резко увеличивается.

При нормальном распределении случайной величины (в данном случае температуры  $T$ ) выполняются соотношения

$$\begin{aligned} P\{-\sigma < \Delta T < +\sigma\} &= 0,683 \\ P\{-2\sigma < \Delta T < +2\sigma\} &= 0,954 , \\ P\{-3\sigma < \Delta T < +3\sigma\} &= 0,997 \end{aligned}$$

где  $P$  – вероятность события. В данном случае вероятность непревышения аномалии температуры  $\Delta T$  пороговых значений. Таким образом, в 68% случаев абсолютная величина аномалии не превышает значения  $\sigma$ .

Параметр Багрова рассчитывался для приземной средней годовой температуры, для СП в целом, тропической умеренной и полярной зон, а также отдельно для

территорий, занятых сушей и океаном, входящих в состав СП и перечисленных зон, для периода 1948-2005 гг.

Ряд значений  $K$ , составленный для всей территории СП, насчитывает 7 лет (над океаном и сушей), когда  $K > 1,5$ . Особенно выделяется 1998 г., когда над океаном  $K = 2,7$ , сушей  $K = 1,95$  и над СП в целом  $K = 2,4$ . Особенно резкие колебания параметра  $K$  происходят в полярной зоне, где  $K$  превышает значение 1,5 в 13 случаях (над океаном и сушей). При этом в 1963, 1980, 2003 гг.  $K > 3,0$ . Наибольшие значения отмечаются над водной поверхностью. В умеренных широтах  $K > 1,5$  зафиксировано в 9 случаях, причем наибольшие значения отмечаются над сушей в 1968 и 1972 гг. ( $K = 2,45$ ). В тропической зоне  $K > 1,5$  в 10 случаях, причем выделяется экстремум 1998 г., когда над океаном  $K = 3,35$ , второе значение по величине отмечено в 1974 г. ( $K = 2,23$ ).

Зная среднее значение параметра аномальности  $K$  для каждого из четырех рассмотренных рядов и значения СКО, можно выделить крупные и очень крупные (экстремалии) аномалии.

При этом непревзойденным экстремумом является значение  $K$  в 1998 г., зафиксированное над океанической акваторией тропической зоны. Отличается высокой степенью возмущенности полярная зона. Отметим, что индекс Багрова нередко используется для оценки степени аномальности температурных полей. В частности, в работе [22] за критерий крупной аномальности температурного поля на территории Монголии принято значение  $K \geq 1,3$ , экстремальной  $K \geq 2,1$ . Отмечено, что экстремальная аномальность встречается лишь от 7 до 13%.

Поля аномальности приземной температуры воздуха (ПТВ), как указывалось, рассчитывались для всей территории СП, а также отдельно для суши и океана. Вычислялась площадь региона (%), занятая аномалиями разного знака для всего рассматриваемого периода.

(1948-2005 гг.). Полученные ряды подвергались фильтрации и выделялись низкочастотные компоненты с периодами более 25 лет.

С целью получения однородной сопоставимой картины аномалии нормировались на величину среднего квадратического отклонения – СКО ( $\sigma$ ). Заметим, что величина СКО характеризует межгодовую изменчивость, служит характеристикой неустойчивости и представляет самостоятельный интерес.

Рассмотрим также распределение величины СКО температуры воздуха у поверхности Земли, рассчитанной в узлах регулярной сетки СП для января, июля и в целом за год в период 1948-2005 гг.

Наиболее сложная картина в январе формируется в полярной широтной зоне, где в очаге, расположенном на юго-западе от Гренландии, значения  $\sigma$  достигают  $7^\circ\text{C}$ , а на востоке от острова до  $-6^\circ$ . Причем эта арктическая зона протянулась с запада от берегов Гренландии на восток до Северной Земли. Остальные очаги в полярной зоне менее обширные по площади, и  $\sigma$  в них изменяется от 2 до  $5^\circ$ .

В умеренной зоне СКО меняется в пределах от 1 до  $3^\circ$ , причем экстремальные значения наблюдаются на западе Северной Америки между  $50$  и  $60^\circ$  с.ш. в районе Скалистых гор, на восточном побережье Северной Америки, на востоке Евразии. В тропической зоне, в акваториях Атлантического и Тихого океанов значения  $\sigma$  не столь велики ( $1-2^\circ$ ). Лишь в пустыне Сахара наблюдается небольшой очаг с  $\sigma = 2^\circ\text{C}$ .

В июле картина существенно упрощается. Наибольший интерес представляет полярная зона ( $60-90^\circ$  с.ш.). Так, интенсивный очаг  $\sigma$ , располагавшийся в январе восточнее Гренландии, в июле уже не прослеживается, здесь  $\sigma = 0,8^\circ$ . Наибольшие значения  $\sigma$  отмечаются на границе водной поверхности и суши. Например, вдоль всего Евразийского побережья Арктики устанавливается достаточно узкая полоса повышенных значений  $\sigma$  (перепад от  $0,4$  над акваторией Северного Ледовитого океана до  $2^\circ$  над континентом). В западной части Северного полушария в районе Канады картина более

сложная, здесь в обширном очаге  $\sigma$  достигает  $2,8^\circ$ . Контрасты в поле  $\sigma$  обостряются при переходе с суши на море.

Естественно, что пространственное распределение  $\sigma$ , рассчитанное по среднегодовым значениям температуры, более сглаженное. Выделяются на общем размытом фоне отдельные очаги, где  $\sigma$  достигает  $2,2^\circ$  (восточнее Гренландии), в районе Канадского архипелага, юго-западнее Гренландии также  $\sigma=2,2^\circ$ . В умеренных и особенно тропических широтах (особенно на акватории океанов) значения  $\sigma$  невелики ( $0,4-1,2^\circ$ ).

Выделенные очаги  $\sigma$  позволяют охарактеризовать состояние неустойчивости поля температуры во времени за рассматриваемый период.

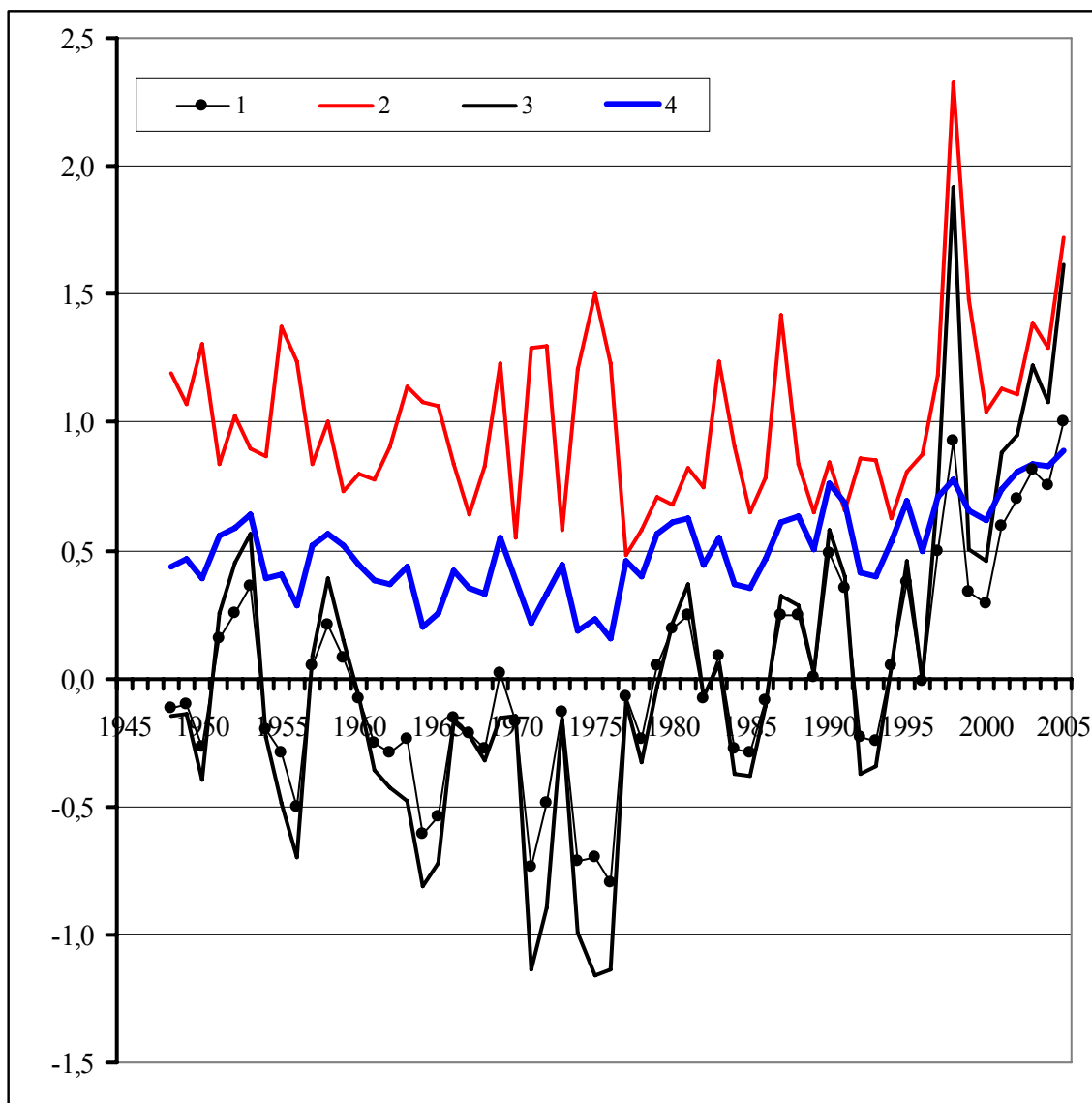


Рис.2. Многолетний ход средней нормированной аномалии (1), индексов аномальности Багрова (2), Токарева (3) и доли площади, занятой положительной аномалией (4) температуры воздуха Северного полушария

Среди климатических экстремальных периодов особое место занимают 1997-1998 гг. – период кульминации теплой фазы явления ЭНЮК (Южное колебание – Эль-Ниньо). Это явление было самым сильным за весь период наблюдения, эффект от него приобрел глобальный характер, меняя климатические условия в разных регионах земного шара,



поражая одни страшной засухой (Индонезия, Австралия), другие из-за серии тропических циклонов – ливнями и наводнениями (Колумбия, Эквадор, Перу) [18].

На построенных нами графиках временного хода ряда характеристик для СП в целом и его регионов резко выделяются показатели 1998 г., который был самым теплым за последние 146 лет (1860-2005 гг.). В работе [6] также отмечается, что важный вклад в потепление этого года внесло необычно интенсивное явление Эль-Ниньо, существовавшее в течение первой половины года и сопровождавшееся беспрецедентным повышением температуры океана в западном и центральном регионах Индийского океана. По сравнению со средним значением приземной температуры воздуха за период 1961-1990 гг., рекомендуемым ВМО в качестве базового для расчета климатической нормы, среднегодовая ПТВ за 1998 г. была на  $0,57^{\circ}\text{C}$  выше. Следует отметить также, что во второй половине XX столетия наблюдались относительно частые эпизоды интенсивной теплой фазы явления Эль-Ниньо, но относительно редкие случаи холодной фазы (Ла Нинья) [18].

В этот год индекс аномальности Токарева достиг экстремального значения 1,9 для всего Северного полушария; значение средней по СП нормированной аномалии среднегодовой температуры составило 0,93; площадь с положительной аномалией достигла уровня 78%. В тропической зоне ( $0 - 30^{\circ}$  с.ш.) значение нормированной аномалии ПТВ достигло 1,2; индекс Токарева – 2,65; площадь, занятая положительной аномалией температуры, составила 80% всей территории тропической зоны.

В умеренной зоне ( $30 - 65^{\circ}$  с.ш.) эти показатели соответственно равны – 0,68; 1,19 и 78%. В полярной ( $65 - 90^{\circ}$  с.ш.) – 0,55; 1,3; 77%. Полярную зону, как и следовало ожидать, ЭНЮК затронуло в наименьшей степени. Кроме того, в этот год резко возросла площадь, занятая очень крупной положительной аномалией температуры (20% океанической территории всего СП), а на 2-м месте – 1975 г., с очень крупной, но уже отрицательной аномалией температуры (14%).

Следует заметить, что в 1998 г. площадь океана СП, занятая положительной аномалией температуры, составила 81, а отрицательной аномалией – лишь 19 %; на долю крупных положительных аномалий приходится 48% площади, а на долю крупных отрицательных аномалий – 3-4%. Очень крупная положительная аномалия занимает 20% площади, очень крупной отрицательной аномалии вообще не зафиксировано. Индекс Токарева составил 1,7 над океаном. Таким образом, явление Эль-Ниньо в наибольшей степени проявилось над океаном.

Для поверхности суши: площадь, занятая положительной аномалией в 1998 г. составила 80% (отрицательной – 20%), крупной положительной аномалией – 43% (отрицательной 2%), очень крупной положительной аномалией 14% (отрицательной 0%), индекс Токарева 1,4.

Для всего СП: площадь с положительной аномалией равнялась 75% (отрицательной – 25%); крупной положительной – 45% (крупной отрицательной – 5%), очень крупной положительной аномалией – 17 % (отрицательной – 0%); индекс Токарева 1,55.

Рассмотрим временной ход показателей аномальности для территории всего Северного полушария на протяжении всего периода 1948-2005 гг. До 1984 г. площадь, занятая отрицательными аномалиями температуры  $S_{-}$ , преобладала над площадью с положительными аномалиями температуры  $S_{+}$ . После 1984 г. все наоборот. При этом в 1964, 1972, 1976 гг. величина  $S_{+}$  достигла своего максимума и оказалась равной 80%; в 2005 г. площадь  $S_{+}$  достигла отметки в 90% от всей площади СП. Однако наряду с долговременной тенденцией на увеличение доли  $S_{+}$ , отчетливо прослеживаемой по низкочастотной компоненте (НК), существует заметная межгодовая изменчивость. Судя по НК, в 2005 г. 70% занимали  $S_{+}$  и 30% приходится на  $S_{-}$ . Естественно, что доля площади, занятая крупными и очень крупными аномалиями, меньше. С 1986 г. площадь с крупными положительными, а с 1989 г. с очень крупными положительными аномалиями стала

превосходить площади, занятые соответственно крупными и очень крупными отрицательными аномалиями ПТВ. Отметим лишь, что в 2005 г.  $S_+$  для крупных аномалий достигла 54, а  $S_+$  для очень крупных аномалий – 10%. В 1998 г. наблюдается резкий всплеск экстремальной аномалии  $S_+ = 17\%$  (этот пик оказался непревзойденным).

Значения индекса Токарева (по низкочастотной компоненте) до 1987 г. находились в отрицательной области, а с 1987 г. этот индекс быстро пошел вверх и достиг в 2005 г. значения 1,75. На кривой этого индекса выделяется также 1988 г., когда  $K_T$  равнялось 1,55.

Анализ вышеперечисленных характеристик для суши и океанической поверхности СП выявил заметные различия. Над океаном переход к доминированию положительных аномалий произошел на несколько лет ( $\sim 5$ ) раньше, чем над сушей. Доля площадей, занятых положительными аномалиями разной интенсивности, над океаном более велика, чем над сушей. Резко выделяется 1998 г., когда  $S_+$  над океаном для очень крупной аномалии достигло 20% (над сушей 14%). Интегральный индекс Токарева на суше составил в 2005 г. 1,35, а над океаном – 2,0.

Заметим, что в работе [1] при анализе трендов температуры выявлен характер разнонаправленных изменений климата на материках и океанах. Наш анализ поведения аномалий температуры различной интенсивности подтверждает различие процессов над океаном и сушей. Более того, наблюдаются процессы разнонаправленного характера не только над акваториями Тихого и Атлантического океанов, но и в отдельных секторах этих океанов.

Обращает на себя внимание сходство трендов в январе, построенных для полярных и тропических широт. В.Н. Степанов отмечает, что в умеренных широтах преобладает циклоническая деятельность, а в более однородных и стабильных термических полях тропических и полярных областей создаются условия, благоприятные для антициклонических систем.

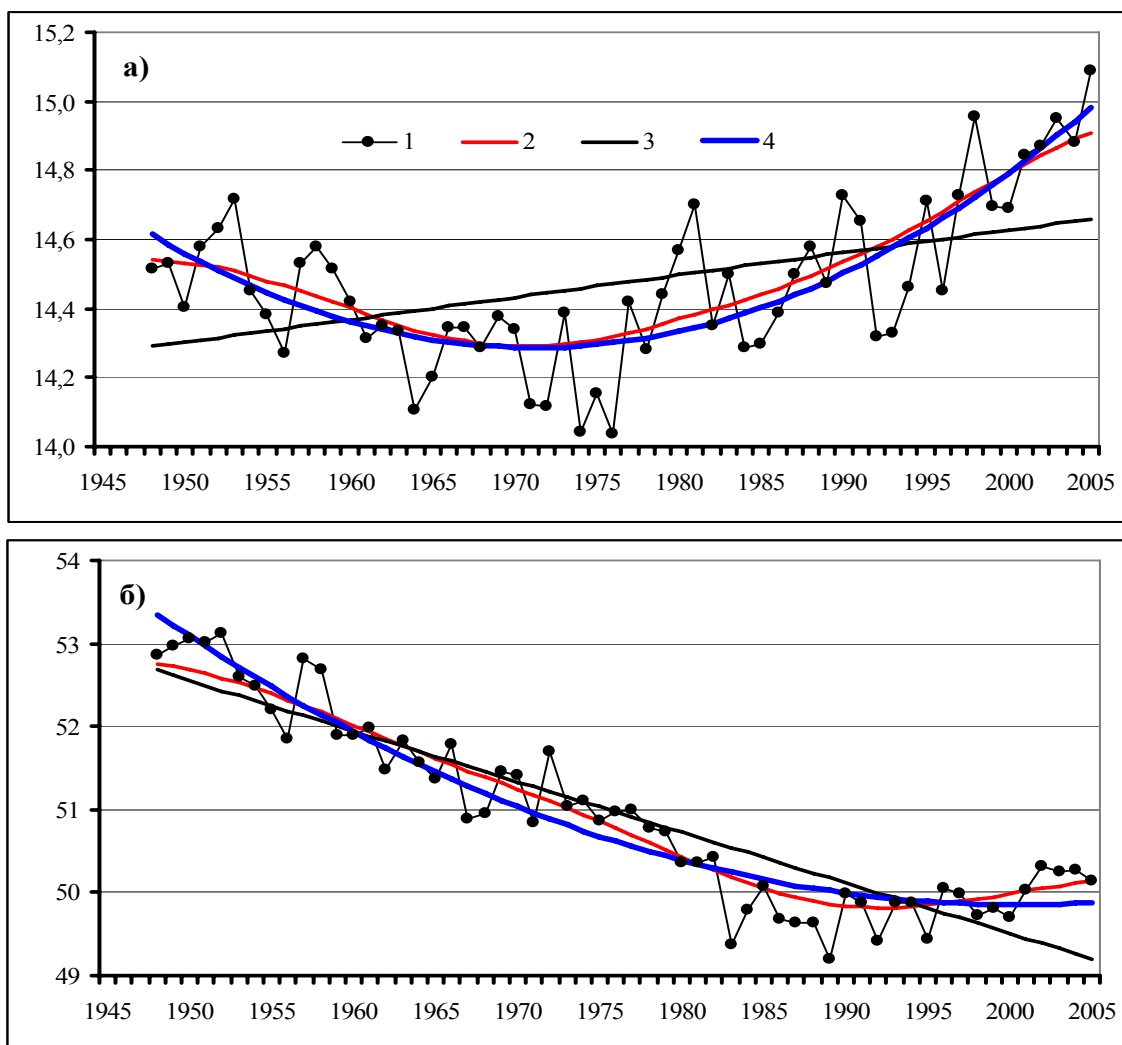
Действительно, в умеренной зоне тренд криволинейный, а в соседних зонах практически прямолинейный. Так, по среднегодовым значениям с 1948 по 2005 г. нормированная аномалия температуры в тропической зоне изменяется от  $-0,35$  до  $0,75$ ; индекс Токарева – от  $-0,4$  до  $1,3$ ;  $S_+$  – от 32 до 86%. В умеренной зоне от точки перегиба в 1975 г., где  $S_+$  равнялась 35%, в 2005 г. она составила 73%. В полярной зоне  $S_+$  возрастает с 34% в 1970 г. до 90% в 2005 г. (криволинейный тренд почти совпадает с прямолинейным).

В целях получения более полной и взаимосвязанной картины изменчивости метеорологических полей во времени с помощью ежедневных данных NCEP–NCAR реанализа приземной температуры воздуха, количества общей облачности и скорости зонального ветра на изобарической поверхности 500 гПа за последние 58 лет (1948 – 2005 гг.) вычислялись ряды январских, июльских и средних годовых, их нормированных аномалий для территории СП в целом, его широтных зон и трех естественно-синоптических секторов умеренной зоны. С помощью полиномиального (первой и второй степени) тренд-анализа и низкочастотной фильтрации ( $\tau \geq 25$  лет) выявлены тенденции в изменениях приземной температуры воздуха, общей облачности и скорости зонального ветра в указанный период, а корреляционный анализ позволил оценить тесноту связи между этими величинами.

Анализ полученных результатов показывает, что перечисленные климатические характеристики ведут себя достаточно независимо. Так, квадратичный тренд для температуры воздуха, осредненной по всему СП, достигает максимума в первой половине 70-х гг., а затем наблюдается восходящая ветвь. Временной ход общей облачности, также осредненной по всему СП, лучше аппроксимируется линейным трендом. Таким образом, рост температуры происходит на фоне уменьшения общего количества облачности (на 3-4 %). Коэффициент наклона линейного тренда для зональной скорости ветра в январе близок к нулю, в июле наблюдается небольшое снижение интенсивности зональной циркуляции, линейный тренд годовых значений имеет слабую

тенденцию к росту. Подобные тенденции просматриваются и в широтных зонах: полярной, умеренной и тропической.

Ход низкочастотных компонент (НЧК) нормированных аномалий температуры воздуха, количество общей облачности и скорости зонального ветра в средней тропосфере свидетельствуют о неоднородном характере крупномасштабных процессов, несовпадении во времени экстремальных значений, что подтверждается также результатами корреляционного анализа. Количество общей облачности повсеместно уменьшается и лишь в последнее десятилетие наблюдается незначительный ее рост. Ход НЧК нормированной аномалии зональной скорости ветра имеет ярко выраженный экстремум, приходящийся на середину 80-х гг. Выявлено существенное различие в поведении трендов исследуемых характеристик в трех широтных зонах, трех секторах умеренной зоны, Атлантическом и Тихом океанах, зимних и летних месяцах. Так, в Атлантике в 1 ЕСР умеренных широт (восточная часть) происходит потепление, а в ее западной части – похолодание, так же, как и в западной части Тихого океана, т.е. возникает пространственная неоднородность.



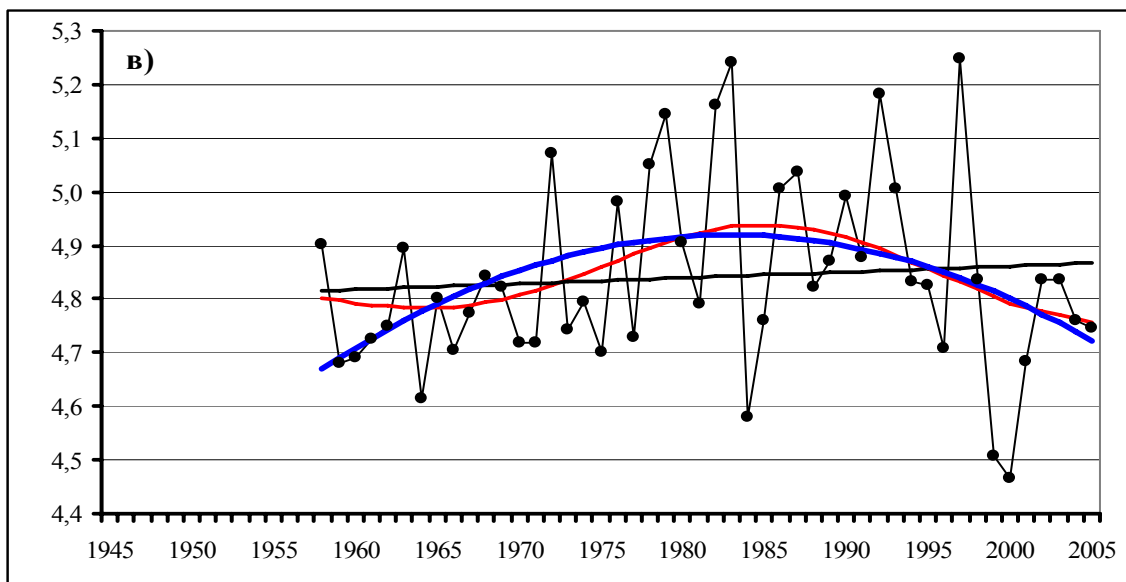


Рис.3. Многолетний ход температуры воздуха (а), количества общей облачности (б) и зональной составляющей скорости ветра на АТ<sub>500</sub> (в) Северного полушария: 1 – исходный ряд, 2 – НЧК более 25 лет; 3 – линейный и 4 – квадратичный тренды

### Библиографический список

1. Бышев В.Н. О разнонаправленности изменений глобального климата на материках и океанах / В.Н. Бышев, В.Г. Нейман, Ю.А. Романов // ДАН. 2005. Т. 400, № 1. С. 98-104.
2. Верещагин М.А. Факторный анализ многолетней динамики глобального термического режима приземного слоя воздуха / М.А. Верещагин, Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский, В.Д. Тудрий // Изв. РАН. Сер.геогр. 2004. № 5. С. 34-41.
3. Всемирная конференция по изменению климата. Москва, 29 сентября –3 октября 2003 г. М., 2004.
4. Гинзбург Б.М. Сроки замерзания и вскрытия рек в конце XX века и возможные их изменения в XXI веке / Б.М. Гинзбург // Метеорология и гидрология. 2005. № 12. С. 88-97.
5. Глобальная климатическая система в 2004 г. // Бюл. ВМО. 2005. Т.54, № 2. С.87-91.
6. Григорьев Ал.А. Экодинамика и геополитика. Т. 2.: Экологические катастрофы / Ал.А. Григорьев, К.Я. Кондратьев. СПб., 2001.
7. Груза Г.В. Колебания и изменения климата на территории России / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова // Изв. РАН, ФАО. 2003. Т. 39, № 2. С. 166-185.
8. Даценко Н.М. О колебаниях глобального климата за последние 150 лет / Н.М. Даценко, А.С. Монин, Д.М. Сонечкин // ДАН. 2004. Т. 399, № 2. С. 253-256.
9. Изменения климата, 2001 г. // Обобщенный доклад ВМО – ЮНЕП. М., 2001.
10. Израэль Ю.А. Изменения глобального климата. Роль антропогенных воздействий / Ю.А. Израэль, Г.В. Груза, В.М. Катцов, В.П. Мелешко // Метеорология и гидрология. 2001. № 5. С. 5-21.
11. Котляков В.М. Прошлое и будущее окружающей среды: свидетельствует гляциология / В.М. Котляков // Наука в России. 2001. № 1. С.5-9.
12. Кренке А.Н. Районирование территории России по сочетанию климатических экстремумов – условий возникновения чрезвычайных ситуаций / А.Н. Кренке, М.М. Чернавская // Изв. РАН. Сер. геогр. 2003. № 2. С. 17-25.

13. *Монин А.С.* Новое о климате /А.С. Монин, А.А. Берестов // Вестн. РАН. 2005. Т. 75, № 2. С. 126 – 138.
14. *Мохов И.И.* Наибольшие скорости регионального потепления климата в последние десятилетия с оценкой роли естественных причин /И.И. Мохов, А.А. Карпенко, П.А. Стотт // ДАН. 2006. Т. 406, № 4. С. 538-543.
15. *Осипов В.И.* Природные катастрофы на рубеже XXI века /В.И. Осипов // Вестн. РАН. 2001. Т. 71, № 4. С.291-302.
16. *Переведенцев Ю.П.* Региональные проявления современного потепления климата в тропостратосфере Северного полушария /Ю.П. Переведенцев, М.А. Верещагин, Э.П. Наумов, К.М. Шанталинский, А.А. Николаев // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. № 6. С. 6-16.
17. *Ранькова Э.Я.* Климатическая изменчивость и изменения климата за период инструментальных наблюдений / Ин-т глобального климата и экологии Росгидромета и РАН. М., 2005.
18. *Семенов Е.К.* Синоптические аспекты формирования экваториальной зоны западных ветров над Тихим океаном в периода экстремального Эль-Ниньо 1997-1998 гг. / Е.К. Семенов, Е.В. Соколихина, Н.Н. Соколихина // Метеорология и гидрология. 2005. № 3. С.17-30.
19. *Сиротенко О.Д.* Усовершенствованная методика расчета оценок климатообусловленного риска для сельского хозяйства с учетом текущих изменений климата /О.Д. Сиротенко // Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. С.131-145.
20. *Степанов В.Н.* Мировой океан /Н.В. Степанов. М.: Знание, 1974.
21. *Токарев В.Г.* Об изменчивости и аномальности средней сезонной температуры воздуха в первую половину лета в Западной Сибири /В.Г. Токарев // Тр. ЗапСибНИИ. 1983. Вып. 59. С. 20-26.
22. *Чистякова Е.А.* О возможности прогноза летних условий погоды в Монголии с учетом крупномасштабной циркуляции атмосферы /Е.А. Чистякова, Р. Миждиддорж, А. Намхай, Б. Жигмэддорж // Тр. Гидрометцентра. 1992. Вып. 319. С. 56-64.
23. *Шмакин А.Б.* Динамика климатических экстремумов в Северной Евразии в конце XX века /А.Б. Шмакин, В.В. Попова // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2006. Т. 42, № 2. С. 157-166.