

УДК 551.582.2: 551.510.52

## СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ ЗЕМЛИ

*Ю.П. Переведенцев, М.А. Верещагин, Э.П. Наумов,  
К.М. Шанталинский, А.А. Николаев*

### Аннотация

Рассмотрены особенности пространственно-временной изменчивости температуры воздуха и скорости зонального ветра от поверхности земли до изобарической поверхности 10 гПа в Северном полушарии за период 1958–2003 гг. Методами статистического анализа выявлены основные тенденции в их многолетних колебаниях, свидетельствующие о неоднородности изменений во времени полей этих климатических показателей.

Проблема современных изменений климата привлекает к себе все большее внимание и ныне является предметом пристального внимания уже не только специалистов-климатологов, но и широкой общественности, политиков. Наиболее яркой особенностью изменений климата в XX и в самом начале XXI столетия является его глобальное потепление. По имеющимся оценкам [1] 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 отмеченного потепления: в период 1910–1946 гг. происходило потепление, в 1947–1975 гг. – слабое похолодание и, начиная с 1976 г., отмечается фаза наиболее интенсивного потепления.

При этом, 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 [2]. 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 [3] указывают, что период наиболее интенсивного роста глобальной температуры XX столетия (90-е годы) 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 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.).

Авторы работы [4], опираясь на результаты анализа палеоклиматических данных за последние 400 тысяч лет (анализ пузырьков воздуха, содержащихся в ледяном керне антарктической станции «Восток»), показывают, что изменения температуры воздуха в прошлом всегда упреждали изменения концентрации парниковых газов, тем самым подвергается сомнению главенствующая роль парникового эффекта в современном глобальном потеплении климата. В пользу «естественной концепции» свидетельствуют также и результаты исследования Е.А. Жадиной, [5], показавшего, что географические области, в которых наблюдаются значительные отрицательные тренды общего содержания озона, хорошо соответствуют регионам с потеплением климата, что может быть следствием волнового тропосферно-стратосферного взаимодействия.

Ввиду исключительной сложности климатической системы (КС) с ее многочисленными обратными связями между компонентами и многомасштабной нелинейной динамикой, дефицитом информации о ее состоянии, рассчитывать на исчерпывающее решение проблемы прогноза климата в ближайшее время не приходится [6]. Тем не менее, к настоящему времени имеются значительные успехи по воспроизведению современного климата с помощью совместных глобальных моделей общей циркуляции атмосферы и океана, что отражено, в частности, в докладах МГЭИК. Следует отметить, что численные эксперименты базируются, как правило, на учете увеличения содержания углекислого газа в атмосфере, т. е. радиационного форсинга. Согласно установившемуся мнению, современные изменения климата – глобальный процесс, имеющий единую природу на всем Земном шаре.

В условиях имеющейся неопределенности в вопросе о генезисе современного потепления и незавершенности исследований по созданию общей теории климата, по-прежнему остаются полезными эмпирико-статистические оценки пространственно-временной изменчивости метеорологических полей. Весьма важным при этом представляется выяснение региональных проявлений климата на основе данных глобального мониторинга КС, полученных в последние десятилетия. Определенные результаты в указанном направлении авторами ранее уже излагались [7, 8].

Настоящая работа является дальнейшим развитием исследований в этом направлении с привлечением наиболее полного банка имеющихся климатических данных для тропо-стратосферы Северного полушария. В качестве информативной базы использовались ежедневные данные реанализа температуры воздуха и зональной составляющей скорости ветра в узлах регулярной географической сетки от поверхности земли до стратосферных уровней (30 км) за последние 46 лет (1958–2003 гг.). Исследованием предусматривалось выявление в долгопериодных изменениях температуры и зональной скорости ветра систематических составляющих (тренда) в их региональном проявлении. Соот-

ветствующие оценки выполнялись как в целом для всего (1958–2003 гг.) периода, так и для отдельных его частей: 1958–1976 гг. (годы слабовыраженного похолодания на Северном полушарии) и 1977–2003 гг. (годы наиболее быстрого потепления). Решение достигалось вычислением коэффициентов наклона линейных трендов (КНЛТ) по данным в узлах сетки.

Для выполнения поставленной задачи строились карты средних полей температуры и зональной скорости ветра, среднеквадратической изменчивости (СКО) этих величин, вычислялись годовые суммы отрицательных температур (ниже 0°C) и годовые суммы положительных температур (выше 0 и 10°C), число дней с температурами ниже 0°C (холодный период) и выше 0 и 10°C (теплый период) и др. (для оценки прикладных и биоклиматических характеристик). Методами корреляционного анализа была выполнена оценка уровней откликов полей приземной температуры воздуха на явления Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК) и Североатлантическое колебание (САК).

Рассматриваемый 46-летний период характеризуется значительным усилением повторяемости и интенсивности эпизодов ЭНЮК, начиная особенно с конца 1970-х годов, и активности Алеутского и Исландского центров действия атмосферы и вулканической деятельности (интенсивные извержения вулканов Агунг (1963 г.), Эль-Чичон (1982 г.), Пинатубо (1991 г.)), оказавших заметное влияние на ход температуры как у поверхности Земли, так и на стратосферных уровнях). Согласно работе [9] рассматриваемый период ознаменовался и постоянным возрастанием выбросов углерода антропогенного происхождения.

Представленное на рис. 1 распределение КНЛТ, полученных в результате линейного тренд-анализа многолетней динамики среднемесячных значений температуры воздуха за подпериод 1977–2003 гг., позволяет еще раз убедиться в том, что оно имеет неоднородную (очаговую) природу.

Указанная неоднородность поля проявилась, прежде всего, в том, что повышение температуры воздуха наиболее быстрыми темпами происходило в центральных частях материков. Можно видеть, что экстремально высокие положительные КНЛТ приурочены к отдельным регионам. В указанных областях пространства потепление климата сопровождалось одновременным уменьшением их годовых амплитуд, что свидетельствует о наметившейся тенденции ослабления континентальности климата.

Физическая природа выявленных очагов многолетнего, устойчивого потепления и похолодания еще подлежит выяснению. Однако в ряде случаев о ней можно говорить с достаточной долей уверенности. Сказанное, в первую очередь, относится к приатлантическому сектору Северной Атлантики, северной части Тихого океана и прилегающей к ней береговой зоне Азии.

Наличие области похолодания западнее Гренландии (море Баффина, Девисов пролив) и области потепления к востоку от нее (Гренландское море) наводит на мысль о том, что их происхождение связано, скорее всего, с устойчивым действием в указанном регионе циркуляционных факторов. По имеющимся данным [10] исландский минимум в последние десятилетия имел устойчивую тенденцию к углублению. По-видимому, такова же природа формирования области потепления над северо-западом Северной Америки и Аляски и области похолодания в Охотском море (многолетняя устойчивая тенденция к углубле-

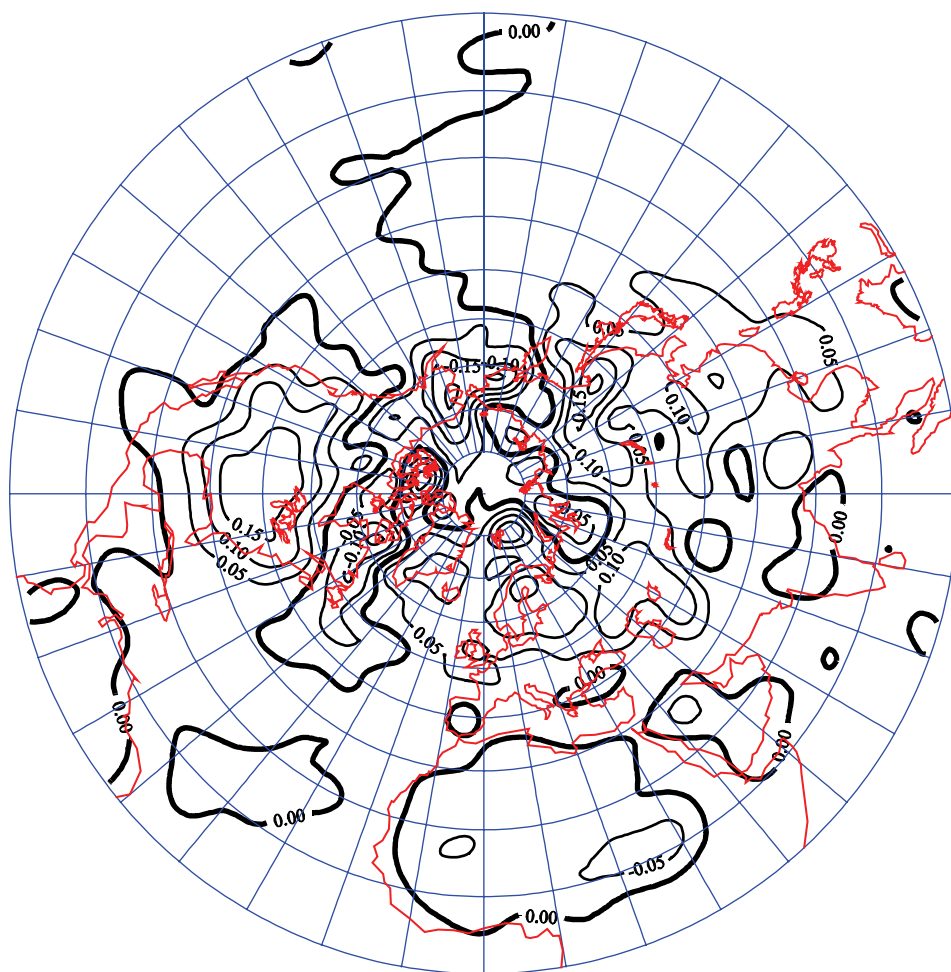


Рис. 1, а. Коэффициент наклона линейного тренда температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) в январе на изобарической поверхности 1000 гПа за подпериод 1977–2003 гг.

нию алеутского минимума). На большое значение циркуляционных факторов в долгопериодных региональных изменениях климата было указано еще в работе Н.Е. Ефимовой [11].

Сопоставление осредненных по всему Северному полушарию аномалий средней годовой температуры воздуха (АСГТВ) в нижней тропосфере (925, 850 гПа) и нижней стратосфере (100, 70 гПа) указывает на противофазный характер многолетней динамики температуры (рис. 2). Так, на уровне 850 гПа до 1976 г. аномалии имели отрицательный знак ( $-0.5^{\circ}\text{C}$ ), начиная с 1977 г. обозначилась четко выраженная тенденция роста температуры, особенно с 1993 г., когда аномалия температуры достигла  $0.7^{\circ}\text{C}$ . В нижней стратосфере, наоборот, в период 1958–1976 гг. АСГТВ имели положительный знак (до  $0.9^{\circ}\text{C}$ ), затем последовал непродолжительный период с их отрицательными значениями, в 1979–1993 гг. возникли два пика с положительными аномалиями, достигавшими в обоих случаях  $1.4^{\circ}\text{C}$ . Появление первого из них по времени совпало с изверже

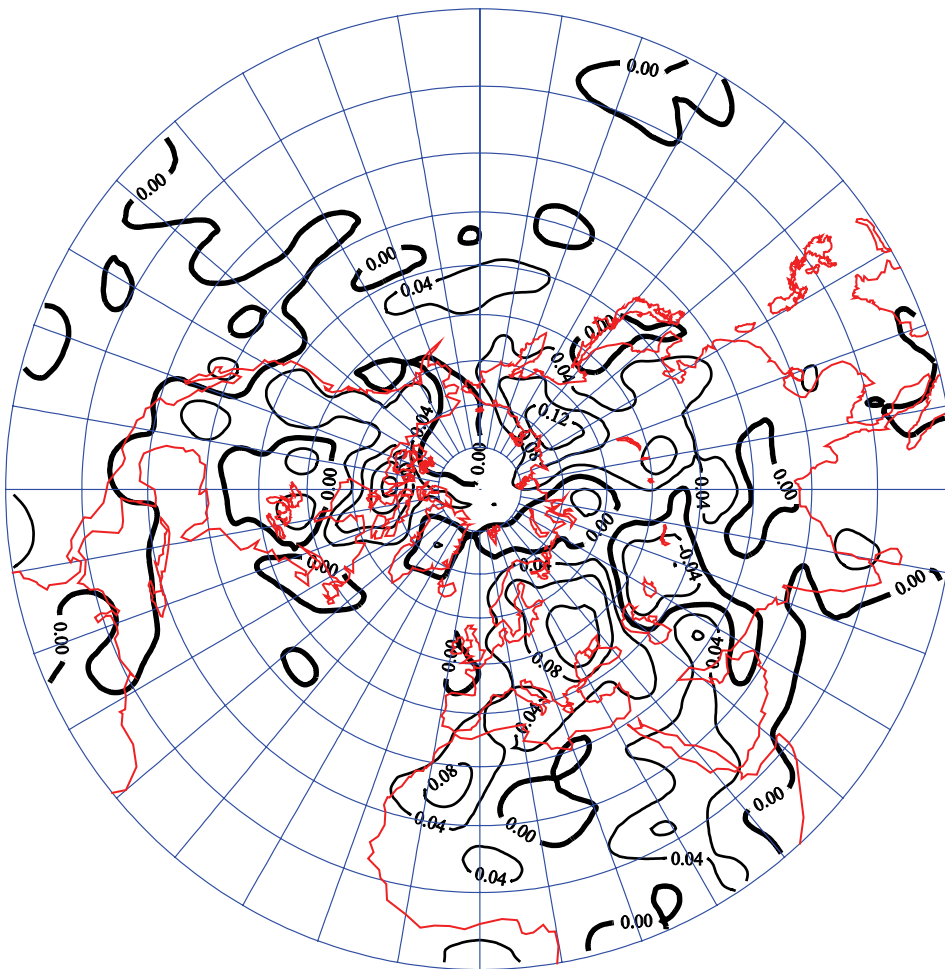


Рис. 1, б. Коэффициент наклона линейного тренда температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) в июле на изобарической поверхности 1000 гПа за подпериод 1977–2003 гг.

нием вулкана Эль-Чичон (Мексика, 1982 г.), а второго – с извержением вулкана Пинатубо (Филиппины, 1991 г.). Начиная с 1993 г., в нижней стратосфере происходило резкое понижение температуры, в результате чего ее аномалия достигла значения  $-1.3^{\circ}\text{C}$ . Все сказанное свидетельствует о неоднозначном характере изменений температуры в различных слоях атмосферы в условиях глобального потепления.

Известно, что на изменения приземной температуры воздуха в Европе заметное влияние оказывает североатлантическое колебание (САК). Расчеты коэффициентов синхронной корреляции между индексами САК и среднегодовой температурой воздуха подтверждают это положение. Величины коэффициентов корреляции для территории Европы достигают 0.4–0.5; в то же время с температурой приводного слоя для акватории Северной Атлантики связь отрицательная, что свидетельствует о сложной (волновой) природе рассматриваемых связей (рис. 3, а).

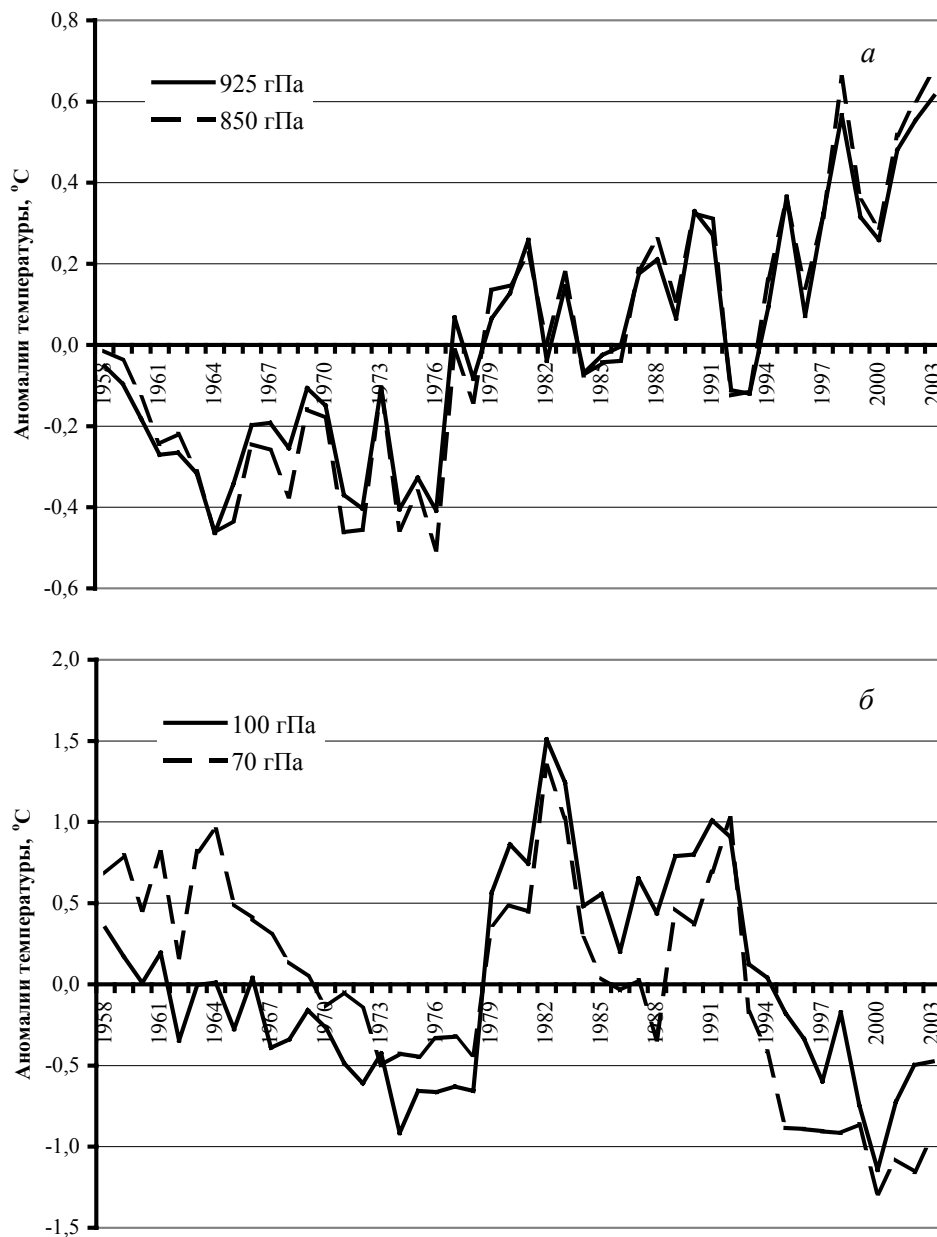


Рис. 2. Многолетний ход аномалий средней годовой температуры воздуха Северного полушария в тропосфере (а) и стратосфере (б)

Изменения термического режима приводного слоя воздуха в центральной и восточной частях приэкваториальной зоны Тихого океана по отношению к изменениям индекса Южного колебания (SOI) носят почти противофазной характер ( $r = -0.9$ ). Это указывает на то, что при переходе к теплой его фазе происходит повышение температуры приводного слоя воздуха, и наоборот. Физически механизм этой связи вполне объясним: при больших отрицательных значе-

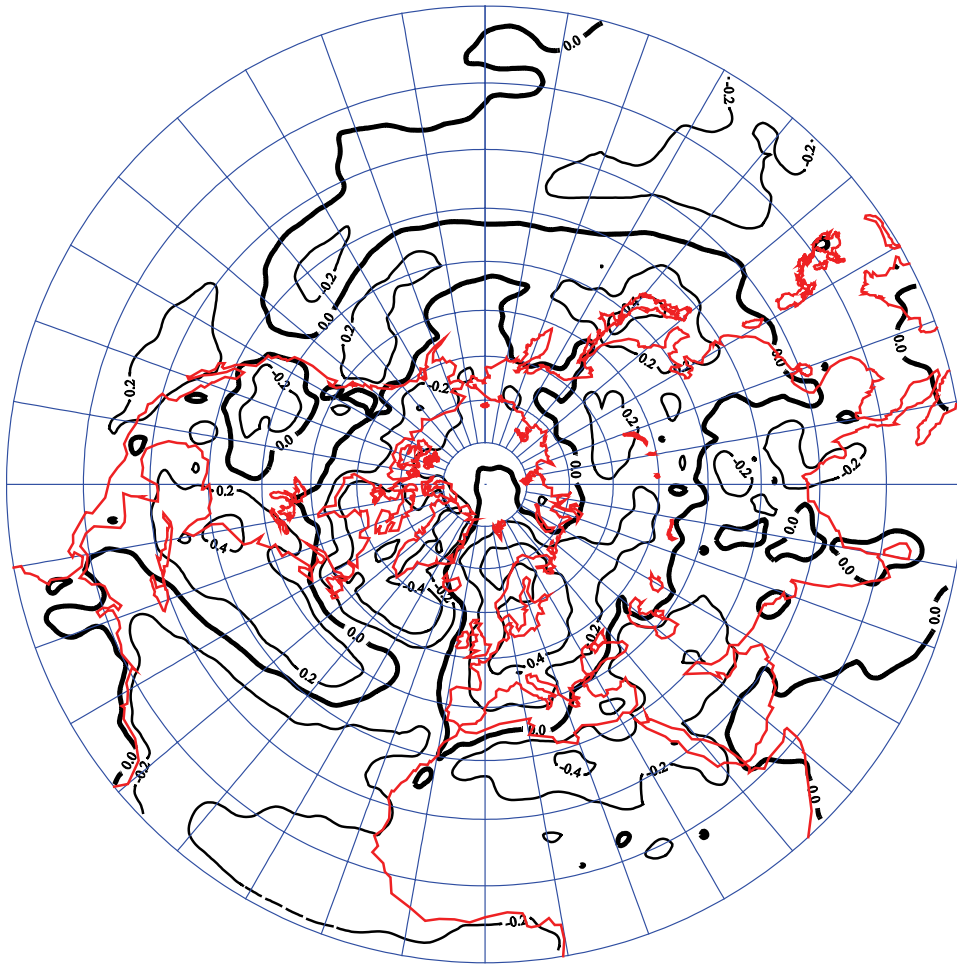


Рис. 3, а. Коэффициент корреляции средней годовой приземной температуры воздуха с индексами САК за период с 1958–2003 гг.

ниях индекса SOI происходит замещение в указанной части акватории Тихого океана холодных вод Перуанского течения перегретыми тропическими водами, что и приводит к повышению температуры приземного слоя воздуха (рис. 3, б). Однако уже к северо-западу от указанной выше части центральной приэкваториальной зоны (в центральной части субтропической зоны Тихого океана) связи приобретают противоположный характер ( $r = 0.6$ ), что предположительно связано с условиями циркуляции водных масс в этой части океана.

В целях более глубокого изучения происходящих процессов были выделены наиболее холодное и теплое десятилетия. Ими оказались соответственно 1967–1976 и 1994–2003 гг. Разность осредненных по этим десятилетиям среднемесячных температур воздуха и зональной скорости ветра указывает на их существенные различия. Так, на карте разностей январских температур самого теплого и самого холодного десятилетия  $\Delta T_{1000}$  четко выделяются обширные области повышения температуры на континентах Евразии и Северной Америки (до  $+4^\circ\text{C}$ ), в то же время в районе горных систем Северной Африки (Сахара)

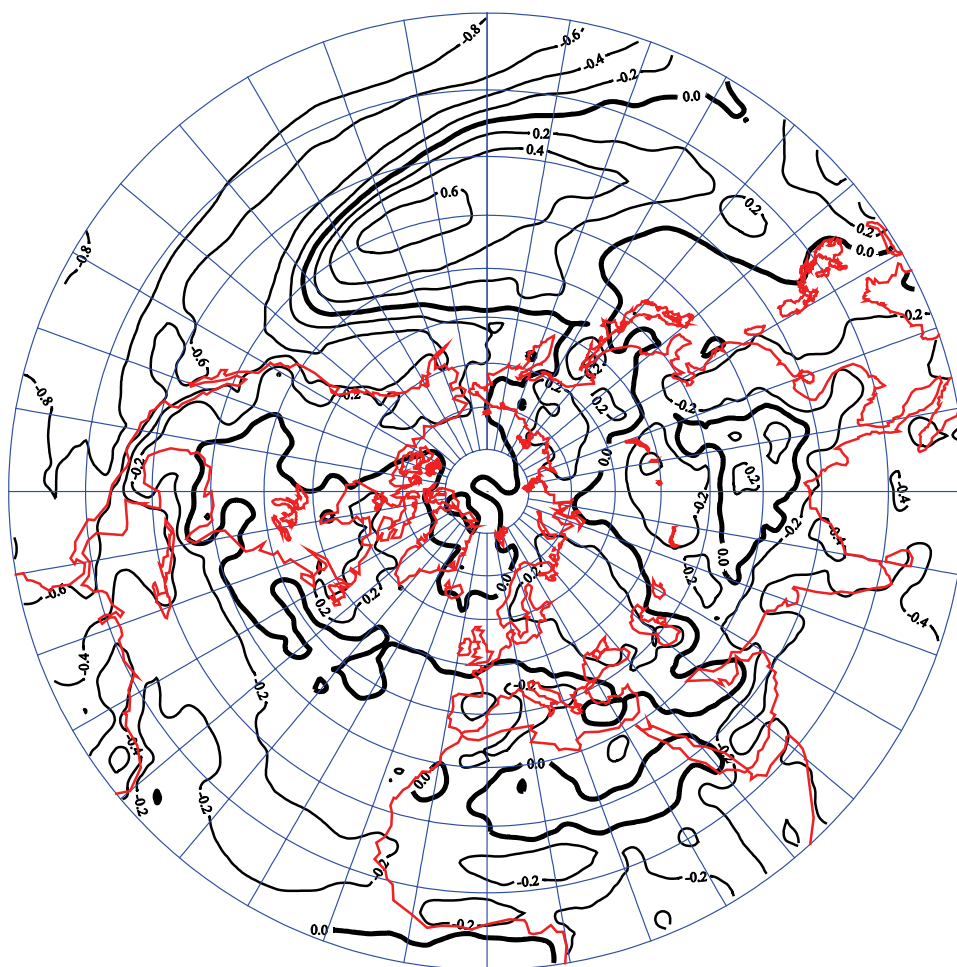


Рис. 3, б. Коэффициент корреляции средней годовой приземной температуры воздуха с индексами ЭНЮК за период с 1958–2003 гг.

наблюдается понижение температуры (примерно на  $1^{\circ}\text{C}$ ). Над обширными территориями Тихого и Атлантического океанов заметно понижение температуры так же, как и в районе Охотского моря. Таким образом, сравнительно сильный прогрев материков сопровождается охлаждением (но менее интенсивным) океанической поверхности.

В режиме ветра за рассматриваемый 46-летний период выявляются следующие структурные особенности: зимой со временем в тропосфере в зоне  $0\text{--}35^{\circ}\text{с.ш.}$  наблюдается ослабление зональных потоков, в зоне  $40\text{--}75^{\circ}\text{с.ш.}$  их усиление, в полярной области вновь ослабление. В летний период картина более сложная. Выявлены также заметные различия в ветровом режиме двух подпериодов: 1977–2003 и 1958–1976 гг. В тропосфере, как правило, отмечается ослабление со временем западных потоков в субтропическом поясе, над Евразийским континентом, наоборот, скорость увеличивается, в полярной зоне вновь ослабевает. В стратосфере преобладает усиление западных потоков зимой, летом ситуация усложняется: скорость восточных потоков усиливается в субтро-



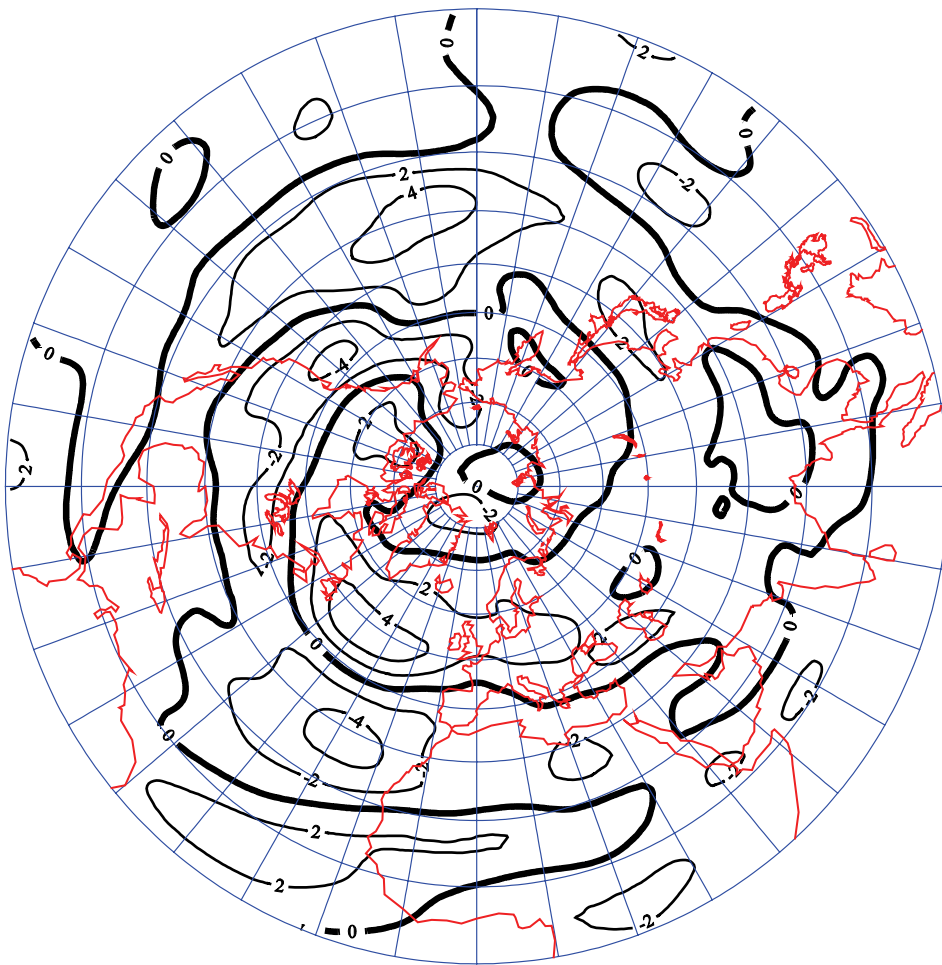


Рис. 4, а. Разности январских зональных скоростей ветра (м/с) подпериодов 1977–2003 гг. и 1958–1976 гг. в тропосфере

пическом поясе и в полярном районе, несколько ослабевает в умеренных широтах (рис. 4).

Анализ широтно-высотных разрезов коэффициентов наклона линейного тренда температуры и скорости зонального ветра позволил выявить следующие структурные особенности. На разрезе КНЛТ среднегодовой температуры воздуха, построенном за период 1958–2003 гг., во всей толще тропосферы наблюдается рост температуры особенно хорошо выраженный под приэкваториальной ( $0.04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) и приполярной ( $0.02^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) тропопаузами (рис. 5). В средних широтах КНЛТ порядка  $0.01^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . Слой стратосферы до высоты 27–28 км, наоборот, выхолаживается, причем скорость понижения температуры в широтной зоне 20–70°с.ш. значительно превышает скорость повышения температуры в тропосфере ( $-0.04$ – $0.05^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ). В приэкваториальной зоне на уровне 23 км она достигает  $-0.07^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , а в полярной зоне на высоте порядка 18 км составляет  $-0.05^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . На уровне 10 гПа (порядка 30 км) температура вновь возрастает.

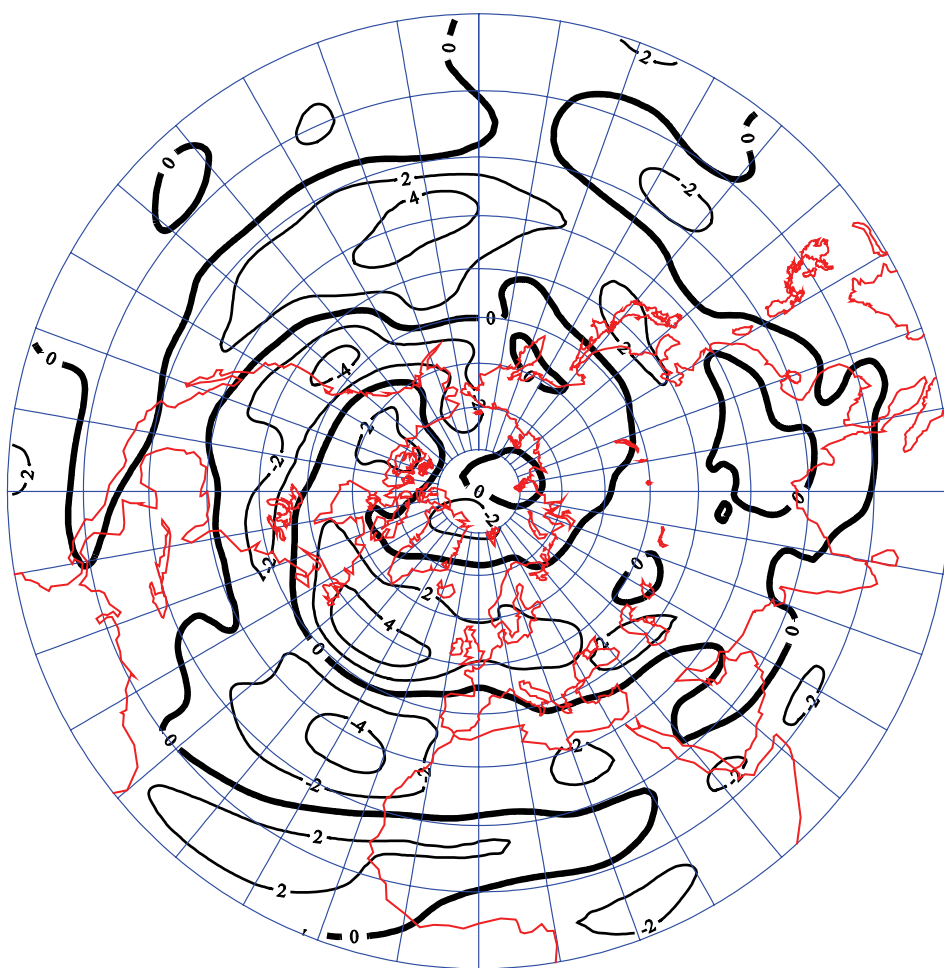


Рис. 4, б. Разности январских зональных скоростей ветра (м/с) подпериодов 1977–2003 гг. и 1958–1976 гг. в стратосфере

На разрезе КНЛТ зональных потоков, построенном для 1958–2003 гг., выявились следующие структурные особенности: в январе в тропосфере в зоне 0–35°с.ш. наблюдалось ослабление зонального ветра с максимумом (–0.04 м/с год) на южной периферии субтропического струйного течения. В полосе умеренных широт скорость ветра усиливается (в верхней тропосфере до 0.07 м/с год), а в полярной области вновь уменьшается (–0.04 м/с год). В стратосфере повсеместно, за исключением полярного района, ветер, напротив, усиливается. Так, на широте 30°с.ш. величина КНЛТ превосходит 0.1 м/с год (рис. 6). В июле в тропосфере возникают дополнительные очаги с отрицательными значениями КНЛТ. Так, вблизи 40°с.ш. КНЛТ достигает –0.02 м/с год. В стратосфере также происходит перестройка поля КНЛТ. В приэкваториальных широтах в слое 8–23 км формируется максимум роста скорости ветра (0.2 м/с год). Выше, наоборот, скорость зонального ветра ослабевает. В стратосфере умеренных и полярных широт картина размытая, практически скорость ветра не меняется.

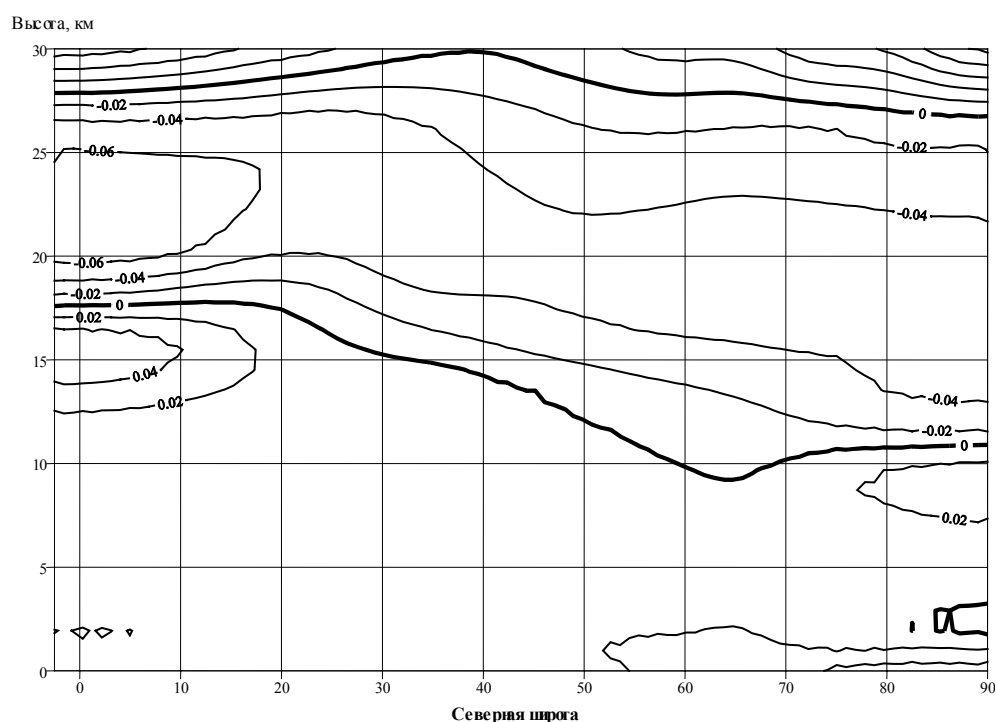


Рис. 5. Коэффициент наклона линейного тренда средней годовой температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) за период 1958–2003 гг.

Аналогичные разрезы, построенные для января и июля по подпериодам 1958–1976 и 1977–2003 гг., позволяют вскрыть новые детали в перестройке температурного поля. Так, если в январе подпериода похолодания (1958–1976 гг.) тропосфера и стратосфера в целом, за исключением нижнего слоя тропосферы приполярной области и полярной стратосферы выше 20 км, имели общую тенденцию к понижению температуры, то в 1977–2003 гг. картина радикально изменилась. Тропосфера низких и умеренных широт стала заметно прогреваться ( $0.02^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ), за исключением приполярной области, где скорость понижения температуры составила  $-0.04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . В стратосфере до широтного круга  $60^{\circ}\text{с.ш.}$  наблюдается интенсивное выхолаживание. И если на уровне 25 км в субтропиках величина КНЛТ составила  $-0.14^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , то в полярной стратосфере эта величина достигла  $+0.14^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . В июле 1958–1976 гг. во всей толще тропо-стратосферы доминировала тенденция к понижению температуры с довольно значительной скоростью (до  $-0.12^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ). Правда, в приполярной нижней стратосфере наблюдался рост температуры. В период 1977–2003 гг. тропосфера стала прогреваться, а стратосфера выхолаживаться.

Рассчитывались и анализировались также аномалии температуры и скорости ветра для холодного и теплого подпериодов для всей толщи тропо-стратосферы от нормы, вычисленной за весь период 1958–2003 гг. Кроме того, строились карты разностей значений метеовеличин, осредненных по двум подпериодам: 1977–2003 и 1958–1976 гг. Наиболее яркой особенностью первого,

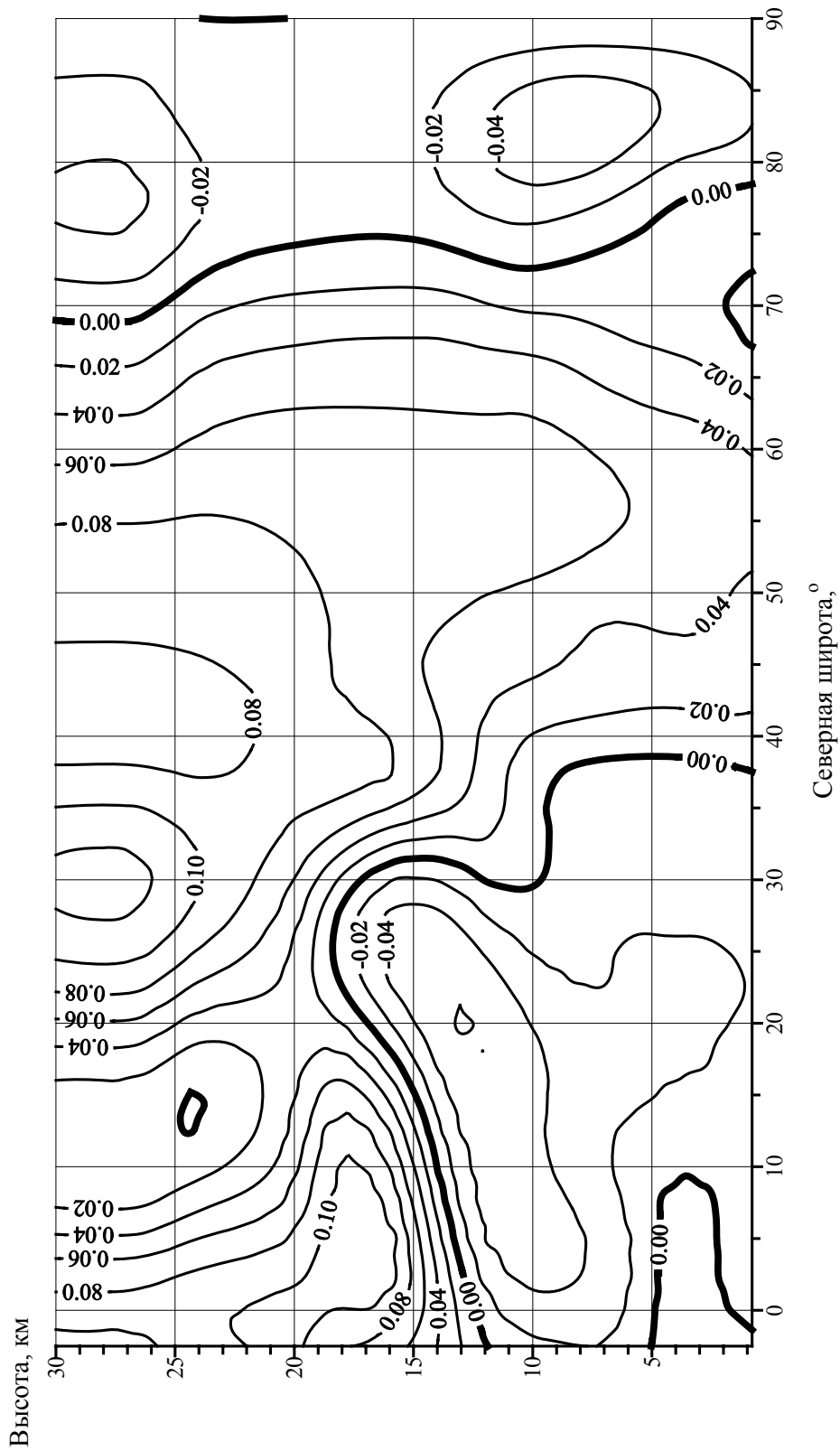


Рис. 6, а. Коэффициент наклона линейного тренда зональной скорости ветра (м/с/год) в январе за период 1958–2003 гг.

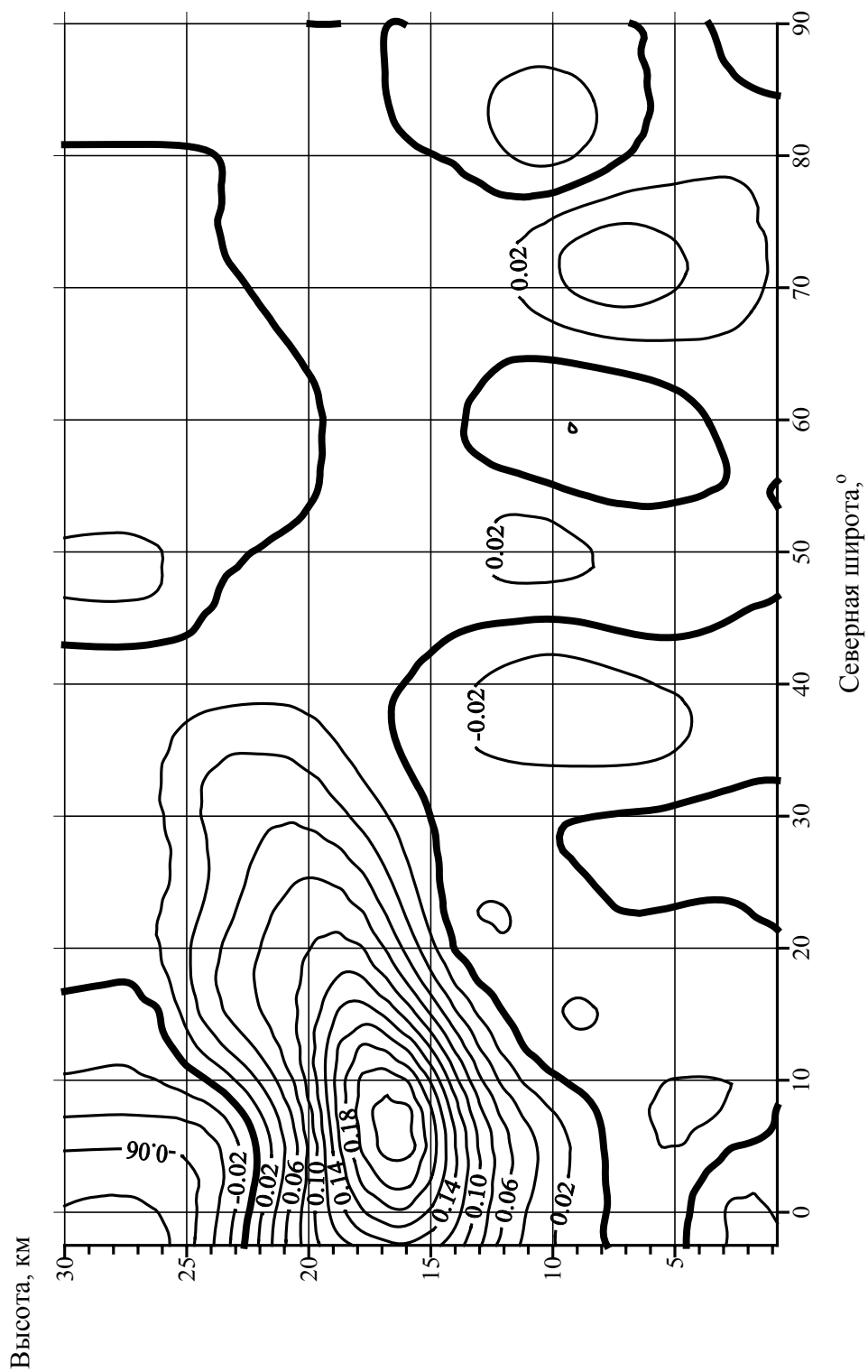


Рис. 6, б. Коэффициент наклона линейного тренда зональной скорости ветра (м/с/год) в июле за период 1958–2003 гт.

более холодного периода (1958–1976 гг.) является формирование очагов холода в нижней тропосфере в северо-западной части Канады и примыкающей акватории Тихого океана с аномалией температуры  $-4^{\circ}\text{C}$ , в центре Евразии (до  $-4.5^{\circ}\text{C}$ ). В стратосфере, наоборот, положительная аномалия температуры на уровне 50 гПа достигла  $+3^{\circ}\text{C}$ . В теплый подпериод (1977–2003 гг.) величина аномалий как положительных, так и отрицательных заметно ниже. Пространственное распределение величин разностей метеовеличин двух рассматриваемых подпериодов свидетельствует о преимущественном характере потепления тропосферы (в отдельных местах до  $+4.5$ ) и сильном выхолаживании стратосферы (почти на  $5^{\circ}\text{C}$ ). Таким образом, происходит перестройка температурного поля во времени и по вертикали.

В качестве одного из важных показателей климатических изменений рассматривается временная эволюция амплитуды годового хода температуры ( $A$ ) за период 1958–2003 гг. Диапазон колебаний величины  $A$  на территории Северного полушария весьма велик – от  $5^{\circ}\text{C}$  в приэкваториальной зоне акваторий Атлантического и Тихого океанов, до  $40^{\circ}\text{C}$  на островах Канадской Арктики и  $50^{\circ}\text{C}$  в Восточной Сибири. Известно, что амплитуда годового хода в большей степени зависит от степени континентальности климата и от характера рельефа. Пространственное распределение разностей величины  $A$  теплого и холодного подпериодов показывает, что на территории Евразии и Северной Америки образуется отрицательный фон со значениями достигающими  $-3^{\circ}\text{C}$ . Выделяются также очаги над Западной Канадой, Гренландией и Охотским морем. Все это свидетельствует об ослаблении континентальности климата. Интересно отметить, что средние квадратические отклонения (СКО) средних годовых амплитуд температуры воздуха, рассчитанные для всего периода 1958–2003 гг., наиболее велики, начиная с широты  $50^{\circ}$  и выше, где они меняются от  $0.5^{\circ}\text{C}$  над акваторией морей до  $4-5^{\circ}\text{C}$  в арктических районах.

Изменялись также экстремальные температуры (максимальные и минимальные). Так, средние максимальные температуры изменялись от  $-5^{\circ}\text{C}$  (Гренландия) до  $35^{\circ}\text{C}$  (Сахара), средние минимальные – от  $-40^{\circ}\text{C}$  (Гренландия) до  $25^{\circ}\text{C}$  (тропические зоны Тихого и Атлантического океанов). Положительный очаг КНЛТ для максимальных температур отмечается в Европе ( $0.05^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ), падение минимальных температур в течение 1958–2003 гг. происходило в ранее отмеченных горных районах Северного полушария, западнее Гренландии ( $-0.1^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ), в районе Охотского моря. СКО средних максимальных температур слабо меняется (до  $1.5^{\circ}\text{C}$ ), а средних минимальных значительно больше – до  $4-5^{\circ}\text{C}$  в арктической зоне. Структура поля СКО очаговая – выделяются восточная Гренландия, Северная Америка, Охотское море (до  $4^{\circ}\text{C}$ ). Таким образом, величины СКО, характеризующие временную изменчивость значений рассматриваемых температурных характеристик, указывают на большую динамичность минимальных температур воздуха.

Поведение экстремальных температур (максимальных и минимальных) также свидетельствует о потеплении климата на большей части территории Северного полушария. Так, средние минимальные температуры повысились от холодного к теплому подпериоду до  $2^{\circ}\text{C}$  на территории Евразии, внетропической части Северной Америки, за исключением северо-западной части Атлан-

тики и южных ее районов. Разности средних максимальных приземных температур свидетельствуют о ее понижении над Сахарой (на  $2^{\circ}\text{C}$ ), южной Азией.

Пространственное распределение сумм температур, превышающих  $0^{\circ}\text{C}$  и  $10^{\circ}\text{C}$ , сумм отрицательных температур, а также коэффициентов наклона их линейного тренда зависит от характера подстилающей поверхности. Так, суммы температур, большие  $0^{\circ}\text{C}$ , изменяются от нулевых значений в Гренландии до  $6000\text{--}7000^{\circ}\text{C}$  в районе Среднеземноморья и  $10000^{\circ}\text{C}$  в приэкваториальных районах Индийского и Тихого океанов. Также неоднородно и распределение КНЛТ. В Северной Африке (Сахара) происходит уменьшение суммы со скоростью  $20^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , что составляет лишь долю процента от полной суммы ( $8000^{\circ}\text{C}$ ). Уменьшение теплозапасов происходит в районе Тибета ( $-10^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ), на западе Северной Америки ( $-5^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ), в Северной Атлантике. Следует заметить, что КНЛТ, вычисленные по подпериодам 1958–1976 и 1977–2003 гг., имеют значительно большие количественные показатели. Так, для холодного подпериода КНЛТ в Сахаре достигает  $-60^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , в районе Тибета  $-40^{\circ}\text{C}/\text{год}$  и т. д. Характеристики, отнесенные к более длительному периоду, включающему в себя теплый и холодный подпериоды, оказываются сильно сглаженными. Рост сумм температур в целом за весь период происходит над Евразией. Величина СКО сумм положительных температур (больших  $0^{\circ}\text{C}$ ) достигает  $450^{\circ}\text{C}$  в районе Сахары. Сходная картина получается для годовых сумм температур превышающих  $10^{\circ}\text{C}$ .

Суммы отрицательных температур, естественно, достигают экстремальных значений над Гренландией ( $-8000^{\circ}\text{C}$ ), в Восточной Сибири ( $-5000^{\circ}\text{C}$ ) и Северной Канаде. Отмечается тенденция к уменьшению сумм отрицательных температур со скоростью  $20^{\circ}\text{C}/\text{год}$  в приполярной области, над Азией ( $10^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) и Европой ( $5^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ). При этом наблюдается существенное различие в поведении КНЛТ для холодного и теплого подпериодов. Если в первом суммы отрицательных температур возрастали (в российской Арктике со скоростью  $-50^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ), то во втором случае происходило уменьшение запасов холода. СКО сумм температур меньше  $0^{\circ}\text{C}$  изменяется от  $600^{\circ}\text{C}$  (Северная Канада) до  $100^{\circ}\text{C}$  на южной границе распространения отрицательных температур.

Число дней с приземной температурой менее  $0^{\circ}\text{C}$  меняется от 365 (Гренландия) до нуля в районе широты  $30\text{--}40^{\circ}$  ш. Наиболее низко опускается зона с отрицательными температурами в районе горной системы Тибет-Гималаи.

Прирост числа дней с температурой больше  $10^{\circ}\text{C}$  в теплый подпериод достигает  $0.5\text{--}1.5$  дней/год, в то же время в подпериод 1958–1976 гг. их число уменьшается со скоростью 2 дня/год.

Интересно отметить, что на карте числа дней с приземной температурой больше  $10^{\circ}\text{C}$  над океаническими поверхностями к  $30\text{--}35^{\circ}$  достигается предельная величина – 365 дней, в то время как над материками – Африкой, Южной Азией – эта изолиния опускается до  $20^{\circ}$ . В приполярной области теплых дней не отмечается. Изолинии распределяются преимущественно зонально, а их возмущения обусловлены наличием горных систем и переходных зон между океанами и материками.

Анализ результатов расчетов показал, что в подпериод похолодания 1958–1976 гг. заметно убывает число дней с положительными температурами (до 2.5

дней/год), а в подпериод потепления 1977–2003 гг. отмечается их увеличение (0.5 дней/год).

### Выводы

Таким образом, анализ результатов, полученных для территории Северного полушария, указывает на неоднородный характер пространственно-временной изменчивости температуры воздуха и скорости ветра как у земной поверхности, так и во всей толще тропо-стратосферы на фоне глобального потепления климата. При этом наиболее яркой особенностью является противофазный характер временных изменений температуры в тропосфере и стратосфере.

Установлено, что в приатлантической Арктике к северо-западу от Гренландии (на протяжении практически всего года) наблюдалось сильное похолодание, северо-восточнее Гренландии, наоборот, – потепление, что объясняется характером циркуляции (поведением Исландского минимума).

Выявляется положительная тенденция температуры над северо-западом Северной Америки и над Аляской, в то же время в районе Охотского моря формируются область с отрицательной тенденцией температуры, что обусловлено циркуляционным фактором – углублением Алеутского минимума и его смещением на восток.

Установлено, что в период теплой фазы ЭНЮК наблюдается усиление скорости зональных потоков в субтропической зоне Тихого океана и ослабление их над акваторией Атлантического океана. Обнаружен также макромасштабный отклик приземной температуры на явления ЭНЮК и САК.

Наблюдаются существенные различия в температурно-ветровом режиме подпериодов похолодания (1958–1976 гг.) и потепления (1977–2003 гг.), между самым теплым (1994–2003 гг.) и холодным десятилетиями (1967–1976 гг.).

Выявленные закономерности подтверждаются также характером линейных трендов показателей теплообеспеченности: сумм температур, продолжительности периодов с температурами в определенных диапазонах.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке научной программы «Университеты России», направление «География».

### Summary

*Y.P. Perevedentsev, M.A. Vereshagin, E.P. Naumov, K.M. Shantalinsky, A.A. Nikolaev.*  
Modern climate changes of Northern hemisphere of the Earth.

Features of spatially time variability of air temperature and speed of a zonal wind from the ground up to an isobaric surface 10 gPa in Northern hemisphere for the period 1958–2003 years are considered. Methods of the statistical analysis reveal the basic tendencies in their long-term fluctuations, testifying about heterogeneity changes in time of these climatic parameters fields.

### Литература

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Изв. РАН. ФАО. – 2003. – Т. 39, № 2. – С. 166–185.



2. Изменения климата, 2001. – Обобщенный доклад ВМО, ЮНЕП.
3. *Даценко Н.М., Монин А.С., Берестов А.А., Иващенко Н.Н., Сонечкин Д.М.* О колебаниях глобального климата за последние 150 лет // Докл. РАН. – 2004. – Т. 399, № 2. – С. 253–256.
4. *Вакуленко Н.В., Котляков В.М., Монин А.С., Сонечкин Д.М.* Доказательства упреждения изменений концентрации парниковых газов вариациями температуры в данных станции «Восток» // Докл. РАН. – 2004. – Т. 396, № 5. – С. 686–690.
5. *Жадин Е.А.* Озон и изменения приземной температуры // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 10. – С. 64–73.
6. *Сун В., Балюнас С., Демирчан К.С., Кондратьев К.Я., Идсо Ш.Б., Постментьер Э.С.* Влияние антропогенных выбросов CO<sub>2</sub> на климат: нерешенные проблемы // Изв. РГО. – 2001. – Вып. 2. – С. 1–19.
7. *Переведенцев Ю.П.* Теория климата. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2004. – 320 с.
8. *Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М.* Особенности проявления современного потепления климата в тропосфере Атлантико-Европейского региона // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 2. – С. 38–47.
9. *Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф.* Моделирование глобального круговорота углерода. – М.: Физматлит, 2004. – 336 с.
10. *Алексеев Г.В., Захаров В.Ф., Смирнов А.Н., Смирнов Н.П.* Многолетние колебания ледовых условий и атмосферной циркуляции в приатлантической Арктике и Северной Атлантике // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 9. – С. 87–98.
11. *Ефимова Н.А., Строкина Л.А.* Эмпирические оценки изменения климата на континентах Северного полушария в конце XX века // Сб. «Изменения климата и их последствия». – СПб.: Наука, 2002. – С. 93–104.

Поступила в редакцию  
16.05.05

---

**Переведенцев Юрий Петрович** – доктор географических наук, профессор, декан факультета географии и геоэкологии Казанского государственного университета.

E-mail: [Yuri.Perevedentsev@ksu.ru](mailto:Yuri.Perevedentsev@ksu.ru)

**Верещагин Михаил Алексеевич** – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.

**Наумов Эдуард Петрович** – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.

**Шанталинский Константин Михайлович** – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.

E-mail: [Konstantin.Shantalinsky@ksu.ru](mailto:Konstantin.Shantalinsky@ksu.ru)

**Николаев Александр Анатольевич** – кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского государственного университета.

E-mail: [Aleksandr.Nikolaev@ksu.ru](mailto:Aleksandr.Nikolaev@ksu.ru)