

Член-корреспондент НАН Украины А. Б. Полонский, Д. В. Башарин

Скорость роста глобальной приземной температуры воздуха, рассчитанная по данным ре-анализа за 1871–2008 гг.

Рассчитаны и проанализированы глобальные линейные тренды в поле приземной температуры воздуха (ПТВ) по данным ре-анализа Национального центра прогнозов США за 1871–2008 гг. На большей части земного шара их типичные значения фиксируются в пределах от 0 до 1 °С/100 лет либо являются незначимыми. Максимальные положительные величины линейных трендов температуры приходятся на высокие широты. В зимние месяцы Северного полушария они достигают 5 °С/100 лет на северо-востоке Канады и на юге Южной Америки. В летние месяцы Северного полушария максимальные тренды ПТВ (до 6 °С/100 лет) отмечаются в районе Антарктического полуострова и в области, протянувшейся от крайнего северо-востока Евразии через северную часть Северной Америки и до Гренландии. Значимые отрицательные величины линейных трендов в поле ПТВ отсутствуют. Таким образом, подтверждается наличие значимого глобального потепления приземного слоя тропосферы столетнего масштаба. Вместе с тем на большей части Европейского региона не наблюдается значимых трендов ПТВ. Здесь преобладает межгодовая–десятилетняя изменчивость ПТВ естественного происхождения.

В последние два десятилетия для исследования глобальных климатических изменений широко используются данные ре-анализа как результат усвоения различных видов наблюдений, накопленных в международных центрах данных, глобальными моделями динамики атмосферы. Первое усвоение такого типа было выполнено в Национальном центре прогнозов США (NCER), где использовались как контактные данные (начиная с 1948 г.), так и спутниковые данные наблюдений (с 1979 г.) [1]. К настоящему времени выполнено еще несколько расчетов, использующих практически ту же историческую базу данных, что и в NCER, но отличающихся пространственным разрешением атмосферных моделей, параметризацией подсеточных процессов, алгоритмом усвоения данных, особенностями численных методов решения системы дифференциальных уравнений. Среди них можно отметить данные ре-анализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) [2] и Японского метеорологического сообщества (JRA) [3].

Использование упомянутых данных ре-анализа для надежной оценки глобальных трендов метеорологических характеристик затруднено, что связано с пространственно-временной неоднородностью наблюдательной системы и ее принципиальным качественным развитием в последние 30 лет. Действительно, спутниковые методы наблюдений, активно развиваемые с конца 70-х годов XX ст., привели к тому, что результаты усвоения за последнюю треть 20 и начало 21 века несравнимы с данными ре-анализа за предыдущий период [4]. Именно поэтому недавно в США был выполнен еще один ре-анализ за период с 1871 по 2008 гг. (так называемой *20th Century Reanalysis*, далее — 20CR), описанный в статье [5] и доступный для открытого использования [6]. Важной его особенностью является то, что в нем усваиваются только срочные данные о приземном давлении, поступающие с сети гидрометеорологических станций, на которых проводятся наблюдения на протяжении длительного периода времени на основе практически неизменных методических принципов.

В качестве граничных условий над акваторией Мирового океана для 20CR используется британский массив данных центра Хэдли (так называемый HadISST), содержащий архивные результаты наблюдений о среднемесячной поверхностной температуре воды и концентрации морского льда [7]. При этом в атмосферной модели с пространственным разрешением $2 \times 2^\circ$, применяемой для ре-анализа, усваиваются: информация об изменении концентрации углекислого газа в атмосфере, имеющиеся данные об изменяющемся радиационном форсировании за счет небольших изменений солнечной постоянной и вулканических извержений, а также информация о процессах, протекающих в почве [5, 8].

Длительность периода усвоения данных наблюдений (138 лет) позволяет рассчитать и проанализировать глобальные линейные тренды приземной температуры воздуха (ПТВ), характеризующие скорость глобального потепления приземного слоя тропосферы столетнего масштаба, что и является основной целью настоящего сообщения.

Первичный анализ качества данных 20CR был выполнен в работе [5], где, в частности, отмечалась хорошая воспроизводимость циркуляции внетропических широт по результатам расчетов. Что касается поля ПТВ, то была зафиксирована значительная разница среднегодовой температуры по данным 20CR и других ре-анализов вблизи обоих полюсов, которая достигала $6\text{--}7^\circ\text{C}$ за 1979–2001 гг. [5]. Вероятно, такая разница была обусловлена практическим отсутствием контактных наблюдений в этих районах на протяжении большей части периода усвоения данных 20CR. В других же ре-анализах усваиваются также и спутниковые данные, поэтому наблюдается существенное различие временного хода температуры в высоких широтах по результатам разных расчетов, особенно выраженное в последние 30 лет. Вот почему в данной работе анализ глобального поля ПТВ был ограничен широтами 70° с. ш. и 70° ю. ш.

Несоответствие линейных трендов ПТВ, рассчитанных по результатам прямых наблюдений в Европе в 1979–2008 гг. и по данным 20CR, достигающее $0,2\text{--}0,4^\circ\text{C}$ за 10 лет, выявлено в публикации [9]. В этой связи в [5] отмечалось о необходимости дальнейшей работы по сравнению массива данных 20CR с другими данными. Поэтому дополнительно нами проведено сравнение статистических характеристик (средних величин, линейных трендов и коэффициентов корреляции), рассчитанных по данным 20CR и по результатам долговременных метеорологических наблюдений за ПТВ для нескольких точек Европейского региона (табл. 1). Эти точки выбирались, исходя из следующих соображений. Во-первых, в окрестности выбранных гидрометеорологических станций отсутствуют выраженные орографические неоднородности, которые могли бы приводить к локальным особенностям ПТВ, плохо воспроизводимых в рамках проведенного ре-анализа из-за его достаточно грубого пространственного разрешения. Во-вторых, на отобранных станциях выполнялись достаточно длительные наблюдения за ПТВ, что позволило надежно оценить линейные тренды столетнего масштаба.

Сравнительный анализ показал, что статистические характеристики, полученные по данным 20CR и результатам наблюдений за ПТВ на выбранных станциях, мало отличаются друг от друга (см. табл. 1). Эти различия могут быть связаны с некоторой удаленностью узлов регулярной сетки в ре-анализе 20CR от местоположения метеостанций. Кроме того, на береговых станциях (таких, как Одесса) низкое пространственное разрешение ре-анализа все же оказывает некоторое влияние на результаты расчетов из-за наличия значительных различий в свойствах подстилающей поверхности на суше и на море. Однако в целом можно сделать вывод о достаточно хорошей воспроизводимости проанализированных статистических характеристик ПТВ по данным 20CR (по крайней мере, для большей части

Восточно-Европейского региона), что (как и результаты работы [9]) позволяет обоснованно надеяться, что качество ре-анализа приемлемо для оценки глобальных линейных трендов ПТВ (за исключением некоторых регионов).

Глобальные линейные тренды ПТВ. Распределение глобальных линейных трендов температуры для января и июля (рис. 1, 2) принципиально подтверждает результаты отчета Межправительственной группы экспертов по изменению климата [10], в котором отмечено, что потепление протекает значительно более быстрыми темпами в высоких широтах как в зимнее, так и в летнее время.

Во все зимние месяцы Северного полушария преобладающими на земном шаре являются значимые положительные линейные тренды ПТВ. Их типичная величина изменяется от 0 до 1 °С/100 лет (см. рис. 1). На крайнем северо-востоке Канады и на юге Южной Америки наблюдаются максимальные положительные тренды температуры, достигающие 5 °С/100 лет. В северной части Азии отмечается обширная область, в которой тренды достигают значительной величины (до 4 °С/100 лет). В то же время имеются обширные области с отрицательными (до -2 °С/100 лет) и небольшими положительными трендами температуры, которые являются незначимыми. Они приурочены к центральной части Тихого океана (40° с. ш. — 40° ю. ш.), Северной Африке, центральной части Южной Америки (0–20° ю. ш.) и области, протянувшейся от центральных районов Северной Америки и северной части Северной Атлантики до Европейского региона, включая большую часть территории Украины.

В летние месяцы Северного полушария, так же, как и зимой, на большей части земного шара преобладают положительные тренды ПТВ, величина которых изменяется от 0 до 1 °С/100 лет (см. рис. 2). Область с положительными трендами (до 6 °С/100 лет) протянулась от крайней северо-восточной части Евразии через северную часть Северной Америки и до Гренландии. Отмечается еще одна область в районе Антарктического полуострова, где величина максимальных положительных трендов температуры достигает 6 °С/100 лет. Это совпадает с результатами, полученными по данным регулярных гидрометеорологических

Таблица 1. Сравнение температуры воздуха по данным 20CR и результатам наблюдений на метеостанциях для января месяца

Метеостанция и период наблюдения	Статистический параметр	Сравнительная характеристика по данным	
		наблюдений	20CR
Полтава (1900–2001 гг.)	Средняя ПТВ, °С	-6,33	-6,40
	Тренд ПТВ, °С/год	0,012	0,011
	Коэффициент корреляции	0,91	
Одесса (1900–2001 гг.)	Средняя ПТВ, °С	-0,78	-1,90
	Тренд ПТВ, °С/год	0,004	0,014
	Коэффициент корреляции	0,90	
Вильнюс (1871–2008 гг.)	Средняя ПТВ, °С	-6,0	-5,2
	Тренд ПТВ, °С/год	0,013	0,011
	Коэффициент корреляции	0,96	
Варшава (1871–1998 гг.)	Средняя ПТВ, °С	-2,9	-2,68
	Тренд ПТВ, °С/год	0,008	0,003
	Коэффициент корреляции	0,95	
Киев (1900–2000 гг.)	Средняя ПТВ, °С	-5,4	-5,3
	Тренд ПТВ, °С/год	0,015	0,012
	Коэффициент корреляции	0,96	

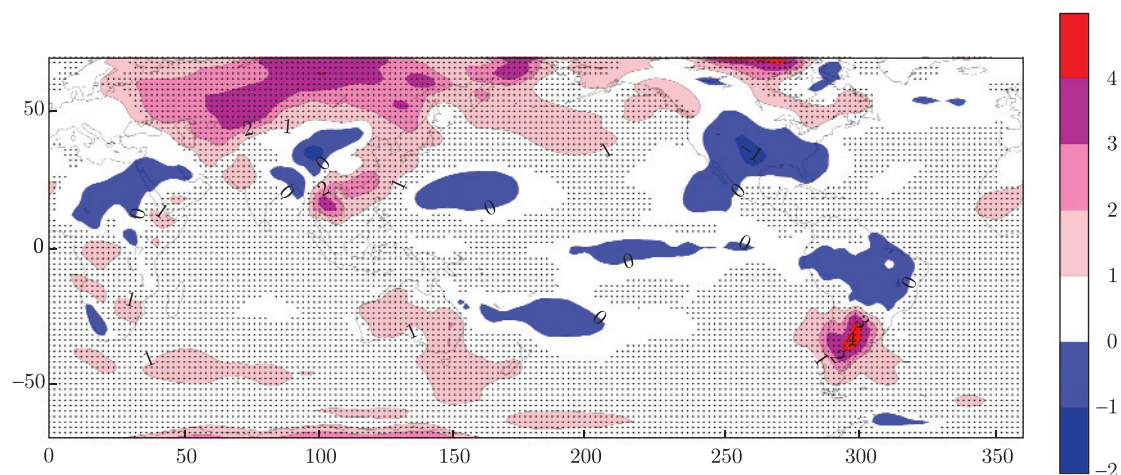


Рис. 1. Глобальные линейные тренды приземной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/100$ лет) в январе за 1871–2008 гг.
Здесь и на рис. 2: затемненные области, покрытые точками, — значимые величины (как минимум на 95%-м уровне значимости)

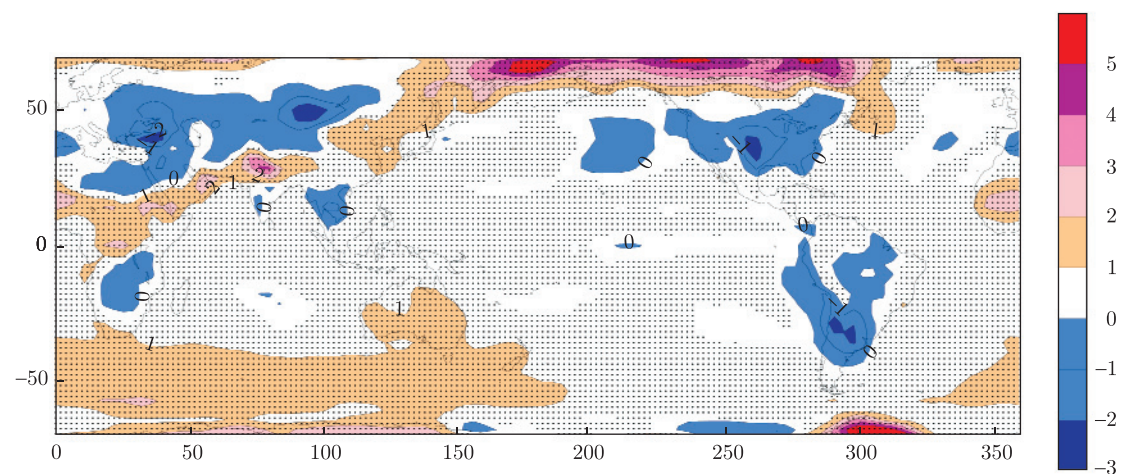


Рис. 2. Глобальные линейные тренды приземной температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}/100$ лет) в июле за 1871–2008 гг.

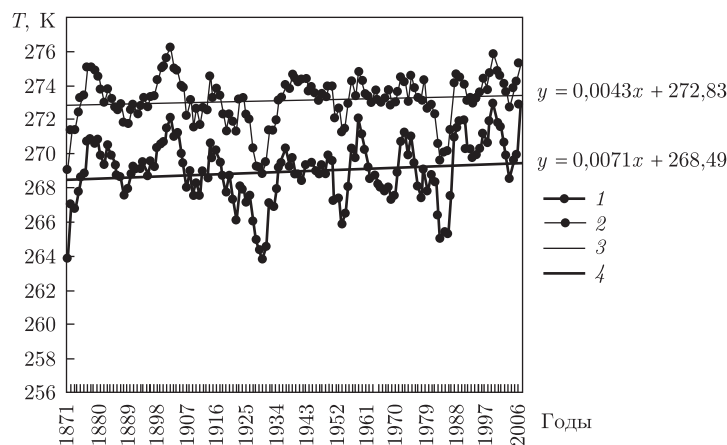


Рис. 3. Временные ряды приземной температуры воздуха в точках 46° с. ш., 30° в. д. (тонкая линия) и 50° с. ш., 30° в. д. (полужирная линия), осредненные за январь–февраль, и их линейные тренды за 1871–2008 гг.

1 — 46° с. ш., 30° в. д.; 2 — 50° с. ш., 30° в. д.; линейные тренды: 3 — 50° с. ш., 30° в. д.; 4 — 46° с. ш., 30° в. д.

наблюдений [9]. Так же, как и в зимние месяцы, имеются обширные области с незначительными трендами ПТВ. К ним относится большая часть Евразии, Южной Америки, Северной Африки и центральная часть Северной Америки.

Таким образом, глобальное потепление не является повсеместным. Оно наиболее выражено в высоких широтах, где величина линейных трендов ПТВ достигает $6^\circ\text{C}/100$ лет. На остальной части земного шара их типичные величины составляют менее $1^\circ\text{C}/100$ лет, либо тренды являются незначимыми. Эти результаты в целом согласуются с данными Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Однако отмечаются и некоторые различия. В частности, анализ более длительного периода времени (с 1871 по 2008 гг.) показывает отсутствие области со значимыми положительными трендами ПТВ над Гренландией, Северной Атлантикой, Европой, Средним Востоком и Центральной Азией. В отчете же IPCC отмечается наличие положительных трендов ПТВ в этих регионах, достигающих $0,45\text{--}0,75^\circ\text{C}/10$ лет.

Важно обратить внимание, что над большей частью Европейского региона не наблюдается значимых трендов ПТВ. Здесь преобладает межгодовая — десятилетняя изменчивость температуры, которая визуально достаточно хорошо видна на временном ходе ПТВ в большинстве узлов расчетной сетки, расположенных на Европейском континенте. Для примера на рис. 3 приведен соответствующий временной ход температуры в двух точках, приуроченных к меридиану 30° в. д., пересекающему Восточную Европу. Отмеченное преобладание межгодовой — десятилетней изменчивости температуры в этом регионе подтверждает результаты, опубликованные в многочисленных работах (например, в [11–13]), и свидетельствует о важности изучения естественной климатической изменчивости.

Авторы выражают благодарность Г. Станкинавичусу за предоставленные среднемесячные данные о температуре воздуха на метеостанции Вильнюса.

1. Kalnay, E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1996. — 77. — P. 437–471.

2. Uppala S. M., Kallberg P. W., Simmons A. J. et al. The ERA-40 re-analysis // Q. J. R. Meteor. Soc. – 2005. – **131**. – P. 2961–3012.
3. Onogi K., Tsutsui J., Koide H. et al. The JRA-25 reanalysis // J. Meteor. Soc. Japan. – 2007. – **85**. – P. 369–432.
4. Bengtsson L., Arkin P., Berrisford P. et al. The need for a dynamical climate reanalysis // Bull. Am. Meteor. Soc. – 2007. – **88**. – P. 495–501.
5. Compo G. P., Whitaker J. S., Sardeshmukh P. D. et al. The twentieth century reanalysis project // Quarterly J. Roy. Meteor. Soc. – 2011. – **137**. – P. 1–28.
6. <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>.
7. Rayner N. A., Parker D. E., Horton E. B. et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // J. Geophys. Res. – 2003. – **108**. – P. 4407–4426.
8. Ek M. B., Mitchell K. E., Lin Y. et al. Implementation of the Noah land-use model advances in the NCEP operational mesoscale model // Ibid. – 2003. – **108**. – P. 8851–8867.
9. Parker D. E. Recent land surface air temperature trends assessed using the 20th Century Reanalysis // Ibid. – 2011. – **116**. – D20125, 6 p.
10. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/tssts-3-1-1.html, IPCC 2007.
11. Полонський А. Б. Роль океана в изменениях климата. – Киев: Наук. думка, 2008. – 184 с.
12. Alvarez-Garcia F., Ortiz-Bevia M., Cabos-Narvaez W. On the structure and teleconnections of north atlantic decadal variability // J. Climate. – 2011. – **24**. – P. 2209–2223.
13. Полонський А. Б., Башарин Д. В. О влиянии североатлантического и южного колебаний на изменчивость температуры воздуха в Средиземноморско-Европейском регионе // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. – 2002. – **38**, № 1. – С. 135–145.

Морской гидрофизический институт
НАН Украины, Севастополь

Поступило в редакцию 23.05.2012

Член-корреспондент НАН України **О. Б. Полонський, Д. В. Башарин**

Швидкість зростання глобальної приземної температури повітря, що розрахована за даними ре-аналізу за 1871–2008 рр.

Розраховано і проаналізовано глобальні лінійні тренди в полі приземної температури повітря (ПТП) за даними ре-аналізу Національного центру прогнозів США за 1871–2008 рр.. На більшій частині земної кулі їх типові значення фіксуються в межах від 0 до 1 °C/100 років або є незначущими. Максимальні додатні величини лінійних трендів температури припадають на високі широти. Взимку в Північній півкулі вони досягають 5 °C/100 років на північному сході Канади та на півдні Південної Америки. Влітку в Північній півкулі максимальні тренди (6 °C/100 років) відзначаються в районі Антарктичного півострова та в області, що простяглася від крайнього північного сходу Євразії через північну частину Північної Америки і до Гренландії. Значущі від'ємні величини лінійних трендів у полі приземної температури відсутні. Таким чином, підтверджується наявність значного глобального потепління приземного шару тропосфери столітнього масштабу. Разом з тим на більшій частині Європейського регіону значних трендів ПТП не спостерігається. Тут переважає міжрічна–десятирічна мінливість ПТП природного походження.

Corresponding Member of NAS of Ukraine **A. B. Polonsky, D. V. Basharin**

Global warming rate of the surface air temperature using reanalysis data for 1871–2008

The global linear trends in the surface air temperature (SAT) from the re-analysis of the National Centers for Environmental Prediction of forecasts the U. S. A. for 1871–2008 (NCEP) have been calculated and analyzed. In the most part of the globe, their typical values are in the range from zero to 1 °C/100 year or are insignificant. The maximum positive values of linear temperature trends occur in high latitudes. In the boreal winter, they reach 5 °C/100 years in the northeastern Canada and in the southern South America. In the boreal summer the maximum trends (6 °C/100 years) are observed in the Antarctic Peninsula and in the region extending from the north-eastern Eurasia through the northern part of North America and up to Greenland. Significant negative trends in SAT have not been found. This confirms the presence of a significant global warming of the surface layer of the troposphere on the centennial scale. However, there are no significant SAT trends in Europe. Here, the interannual-decadal variability of SAT of the natural origin dominates.