

Е.А. Дюкарев, И.И. Ишполитов, М.В. Кабанов, С.В. Логинов

## Изменение климата на азиатской территории России во второй половине XX столетия: сравнение данных наблюдений и реанализа

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск*

Поступила в редакцию 31.07.2006 г.

Построены поля температуры, давления и осадков и соответствующие им линейные тренды на азиатской территории России за климатически значимый интервал 1975–2005 гг. по данным станций наблюдений и данным реанализов, проведены сравнение полученных результатов и оценка возможностей данных реанализов для воспроизведения пространственно-временных изменений климатических параметров.

В третьем отчете Международной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) [1] отмечается необходимость исследования изменений климата в различных регионах с тем, чтобы понять происходящие глобальные изменения.

Азиатская территория России (АТР) представляет собой обширный регион планеты, в котором реализуются разнообразные физико-географические условия. Этот регион вносит существенный вклад в изменение климата Северного полушария. Под изменениями климата мы будем понимать в соответствии с [1, 2] статистически существенные вариации средних значений климатических параметров или их изменчивости (дисперсии, повторяемость экстремальных событий и т.д.), устойчиво сохраняющиеся в масштабах десятилетий.

Исследованиям изменений климата на территории АТР посвящено большое количество работ, например [3–5]. В [3] приведены, в частности, результаты расчетов коэффициентов линейных трендов температуры и осадков для отдельных станций на всей территории России за период 1951–2000 гг. Показано, что общая тенденция изменения средней годовой температуры воздуха на территории России характеризуется положительным трендом  $0,47\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ лет}$  — зимой,  $0,29\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ лет}$  — летом, пространственное распределение трендов неоднородно, районы с максимальными темпами потепления расположены в Средней и Восточной Сибири.

В [4] рассчитанные распределения по территории АТР за тот же период времени положительных трендов среднегодовой температуры воздуха варьируют от значений  $0,2\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ лет}$  вдоль побережья Северного Ледовитого океана до  $0,5\text{ }^\circ\text{C}/10\text{ лет}$  в отдельных районах Сибири и Дальнего Востока. Близкие к этим оценки получены в [5].

Для атмосферных осадков, согласно [3, 5], во второй половине XX в. выявлена тенденция к уменьшению годовых и сезонных сумм осадков в целом по

России и для ее восточных регионов, причем наиболее заметно уменьшение на северо-востоке АТР.

Давление приземного воздуха для АТР согласно [4] имеет тенденции к снижению величин трендов  $(-0,1 \div -0,5)\text{ гПа}/10\text{ лет}$ , причем области с максимальными отрицательными трендами расположены в устье Оби и в верховьях р. Енисея и Лены.

В отмеченных выше и других подобных работах трудности при сравнении получаемых результатов связаны с определенным произволом в выборе на рассматриваемой территории станций наблюдения, анализируемого временного интервала, а также того обстоятельства, что существует проблема определения изменения климата на внешних границах территории. Например, для АТР оценки трендов температуры приземного воздуха вдоль побережья Северного Ледовитого океана основаны на данных сравнительно небольшого числа станций и для получения корректной картины трендов требуется не всегда доступная наблюдательная информация, относящаяся к Арктическому сектору.

Цель настоящей работы заключалась в нахождении полей средних значений и линейных трендов климатических параметров на территории АТР за климатически значимый интервал 1975–2005 гг. по данным станций наблюдений и данным реанализов [6]. Дана оценка точности воспроизведения пространственно-временных изменений температуры, давления и осадков по данным реанализа.

### Использованные данные и методика обработки результатов

Для анализа климатических изменений использовались:

— ежесуточные данные наблюдений за приземными температурой и давлением, а также осадками на 454 станциях, расположенных к востоку от Урала, и в северных районах Казахстана, Монголии,

Китая (Центр распределения данных NOAA, ftp://ftp.cdc.noaa.gov);

– реанализ NCEP/NCAR, первой версии, среднесуточные данные за 1948–2005 гг. (ftp://ftp.cdc.noaa.gov), которые содержат средние значения климатических параметров, относящиеся к ячейкам  $2,5 \times 2,5^\circ$  по широте и долготе.

Сравнение данных наблюдений и реанализа проводилось по следующей методике. Для каждой станции наблюдения за исследуемый промежуток времени определялись среднемесячные и среднегодовые значения и дисперсии исследуемого параметра с использованием метода наименьших квадратов, находился линейный тренд и определялась его статистическая значимость. Из полученных средних значений и трендов соответствующие поля рассчитывались методом объективной интерполяции Крайгинга [7].

Далее проводилось интегрирование поля в пределах каждой ячейки реанализа, полученный результат делился на ее площадь и найденная таким образом средняя величина сравнивалась с соответствующей величиной, даваемой реанализом. В некоторых случаях, когда географические координаты центра ячейки реанализа практически совпадали с координатами станции наблюдения, сравнивались непосредственно результаты наблюдений и реанализа.

## Результаты и их обсуждение

На рис. 1, *a* представлено распределение среднегодовой температуры на территории АТР по данным 454 станций за период 1975–2005 гг., на рис. 1, *б* – это же распределение, полученное по данным реанализа NCEP/NCAR.

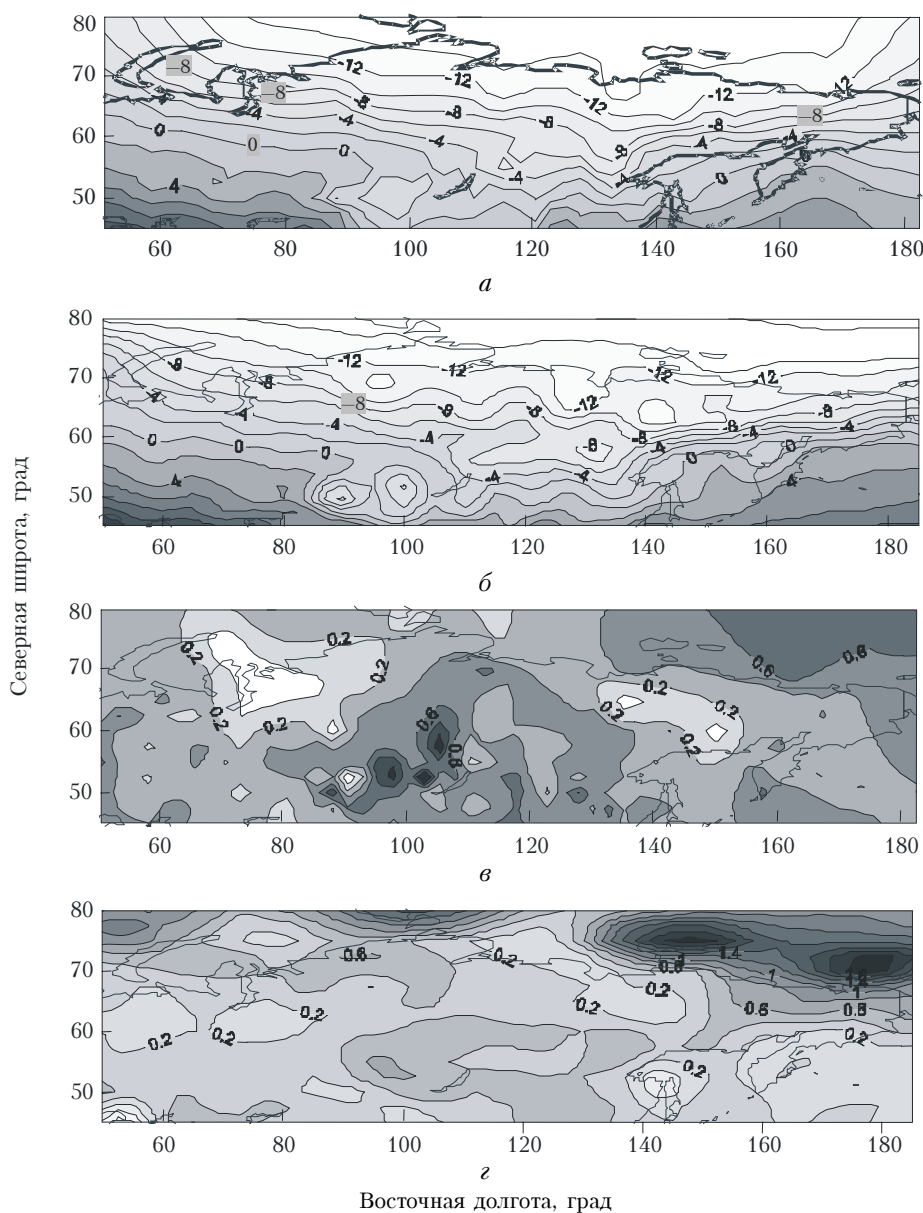


Рис. 1. Распределение полей среднегодовой температуры,  $^\circ\text{C}$ , за период 1975–2005 гг. (*a* – по данным наблюдений; *б* – по данным реанализа) и линейных трендов,  $^\circ\text{C}/10$  лет (*в* – по данным наблюдений; *г* – по данным реанализа)

Видно, что реанализ дает качественно правильную картину распределения среднегодовой температуры по рассматриваемой территории. Средняя по модулю невязка температур определялась как

$$\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |T_i^o - T_i^R|,$$

где  $T_i^o$  — температура по данным наблюдений,  $T_i^R$  — температура по данным реанализа;  $N$  — число ячеек реанализа. Величина  $\delta$  оказалась равной  $1,25^\circ\text{C}$ , что представляется вполне удовлетворительным результатом, поскольку с примерно такой же погрешностью температура приземного воздуха воспроизводится динамическими климатическими моделями.

Несколько иная картина имеет место при сопоставлении соответствующих линейных трендов, представленных на рис. 1, *в* (станции наблюдений) и рис. 1, *г* (реанализ).

Прежде всего, существенные отличия наблюдаются в области высоких ( $70$ – $80^\circ$  с.ш.) широт, где

реанализ дает более высокие значения трендов, чем те, что получаются по данным наблюдений. Несомненно, что в этой области имеет место упомянутый выше эффект влияния границы и сравнение результатов для этой области не имеет смысла без пересмотра базы наблюдательных данных.

В области широт ( $50$ – $70^\circ$  с.ш.) реанализ воспроизводит области ускоренного потепления в Средней и Восточной Сибири с несколько меньшими, по сравнению с наблюдаемыми, коэффициентами линейных трендов. Причины расхождений полей температуры и линейных трендов, полученных из данных наблюдений и реанализа, связаны с качеством данных реанализа. Наиболее типичные расхождения, возникающие при сравнении данных, продемонстрированы на рис. 2. Там же приведены ряды среднемесячных значений температур января за 1950–2005 гг. для станций наблюдения Караганда, Братск и Тарко-Сале, расположенных в непосредственной близости от узлов реанализа.

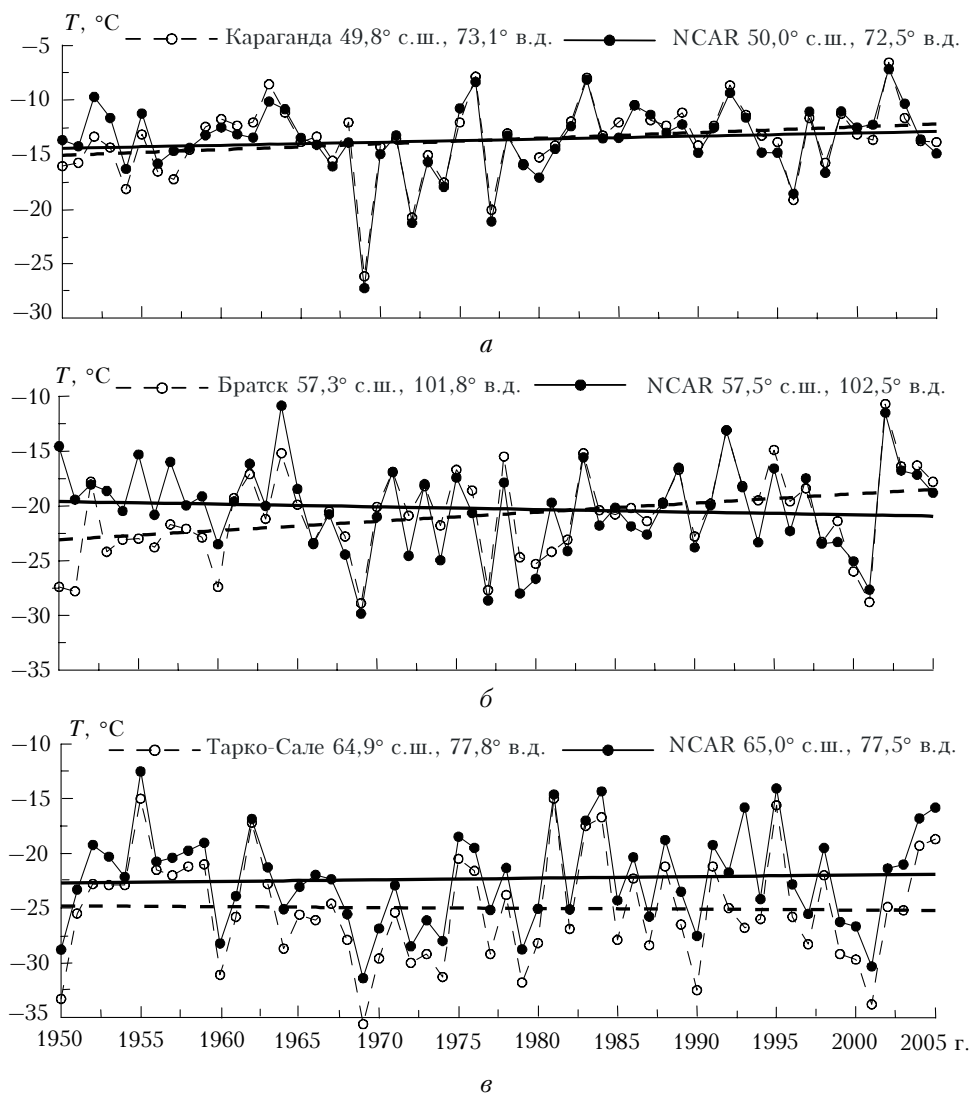


Рис. 2. Сравнение данных наблюдений и NCEP/NCAR реанализа для метеостанций Караганда (*а*), Братск (*б*), Тарко-Сале (*в*). Средняя температура января за 1950–2005 гг.

Для Караганды небольшие различия в рядах среднеянварских температур наблюдаются в 1950–1965 гг. Положительные тренды среднеянварских температур практически совпадают.

Для Братска различия в рядах температур в период 1950–1965 гг. являются весьма существенными, и именно они приводят к возникновению разнонаправленных трендов: положительного для станции и отрицательного для узла реанализа.

Наконец, для станции Тарко-Сале реанализ практически на всей временной оси завышает значения среднеянварских температур, так что однонаправленные слабые тренды оказываются сдвинутыми друг относительно друга.

Из изложенного вытекает, что хотя реанализ в общих чертах правильно передает картину потепления, количественная картина, в особенности если речь идет о применении к территориям, слабо охваченным наблюдениями, может существенно отличаться от действительной.

На формирование приземного поля давления над территорией АТР наиболее существенное влияние оказывает зимний сибирский антициклон. На северо-западе и на юго-востоке АТР сказывается влияние Исландского и Алеутского минимумов.

На рис. 3, *a* представлено поле среднегодового давления, усредненное за 1975–2005 гг. Оно характеризуется областью низкого давления с центром над

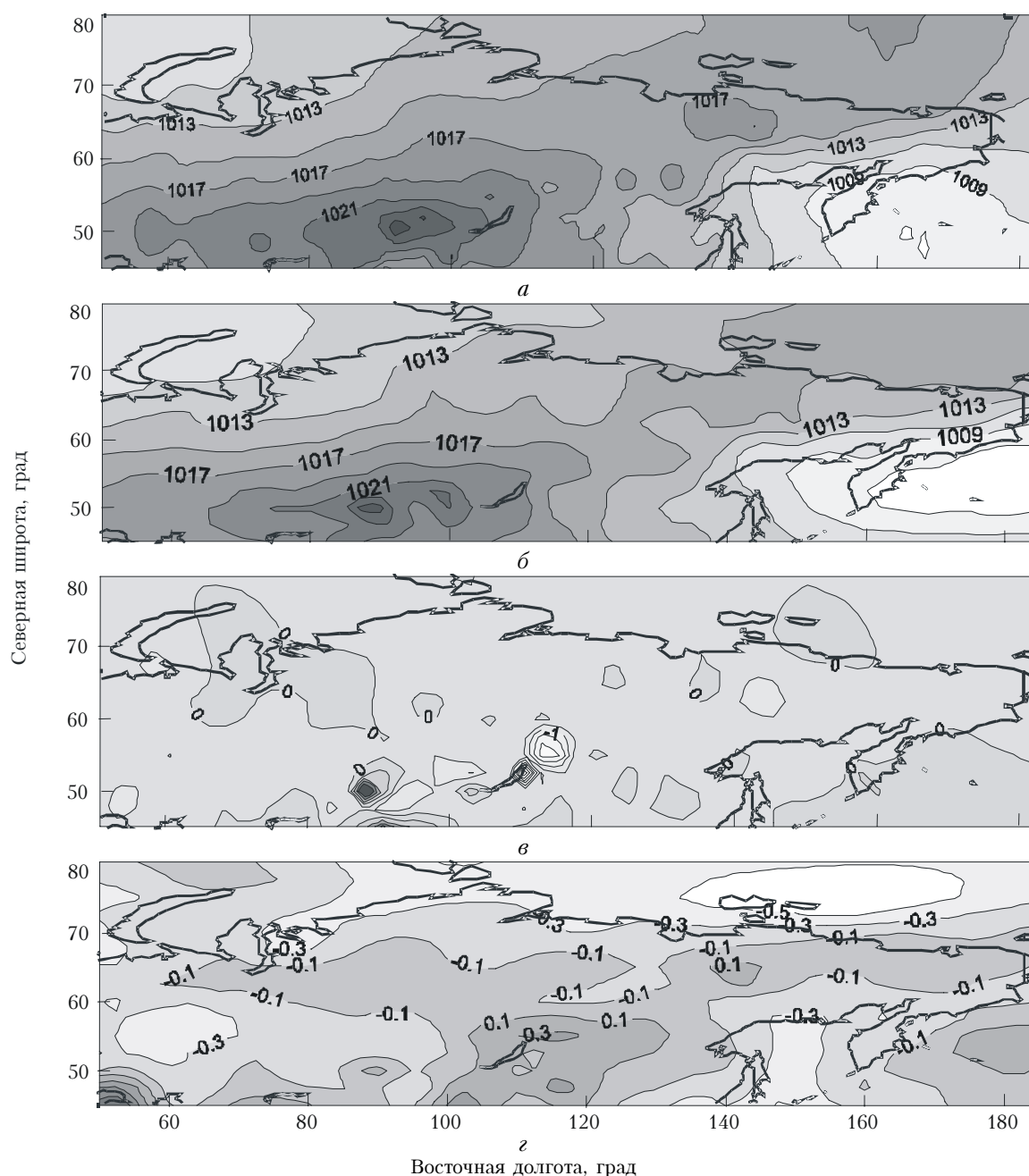


Рис. 3. Распределение полей среднегодового давления, гПа, за период 1975–2005 гг. (*a* – по данным наблюдений; *б* – по данным реанализа) и линейных трендов, гПа/10 лет (*в* – по данным наблюдений; *г* – по данным реанализа)

Карским морем. Это образование неглубокое, давление в центре составляет 1008 гПа.

Из карт распределения давления в январе, приводимых в климатических атласах, следует, что на районы Баренцева и частично Карского морей распространяется ложбина Исландского минимума.

Однако сопоставление годового хода давления в этом образовании и Исландском минимуме [4] дает основание считать эту область центральным циклоном, о существовании которого писал С.П. Хромов [8]. Вторая область низкого давления (1008 гПа), расположенная восточнее Сахалина, является ложбиной Алеутского минимума.

В синоптической метеорологии условно принято считать изобару 1015 гПа разграничительной между циклоническими и антициклоническими полями давления.

Из рис. 3, *а* видно, что на большей части АТР преобладают процессы антициклогенеза. Основным регулятором выступает сибирский антициклон с давлением в центре 1025 гПа. Его центр располагается над Тувинской котловиной, а отрог вытянут на северо-восток в направлении Чукотки и Восточно-Сибирского моря. Самостоятельное ядро сибирского антициклона располагается восточнее хребта Черского.

Поле давления, полученное для того же периода по данным реанализа, приведено на рис. 3, *б*. При полном качественном согласии между полями на рис. 3, *а*, *б* имеются количественные различия. Реанализ занижает давление в северо-западной и юго-восточной циклонических областях (1004 и 997 гПа) и существенно (1035 гПа) завышает давление в области локализации сибирского антициклона.

Распределение трендов давления по данным наблюдений показано на рис. 3, *в*, а по данным реанализа — на рис. 3, *г*.

Сравнение этих рисунков свидетельствует о весьма существенных расхождениях. По данным наблю-

дений, над большей частью исследуемой территории среднегодовое приземное давление уменьшается со скоростью 0,2–0,5 гПа/10 лет.

Области слабого (0,1–0,5 гПа/10 лет) положительного тренда давления расположены в нижнем течении Оби, в районе Новосибирских островов и на юго-востоке в зоне действия Алеутского минимума. Последнее обстоятельство может свидетельствовать о тенденции в 1975–2005 гг. к заполнению Алеутского минимума.

В области действия сибирского антициклона станции наблюдения расположены в горной местности. На этих станциях отмечаются большие как положительные (Хамар-Дабан, +6 гПа/10 лет), так и отрицательные (Замокта, –7 гПа/10 лет) значения трендов давления, так что по этим данным нет оснований говорить об усилении или ослаблении сибирского антициклона, хотя тенденция усиления отмечается для зимних месяцев [9].

Качественно отличная картина распределения трендов давления получается по данным реанализа (рис. 3, *г*). Первое отличие заключается в очень высоких значениях (до 20 гПа/10 лет) положительных трендов в области Алеутского минимума. Далее тренды понижения давления в северо-западной части АТР также велики (до –10 гПа/10 лет) в сравнении с данными наблюдений.

Таким образом, реанализ показывает более ярко выраженную динамику изменения давления над рассматриваемой территорией, чем та, что следует из рис. 3, *в* и других опубликованных данных [10].

Распределение количества осадков по территории АТР вычислялось по данным 454 станций наблюдений за 1975–2005 гг., за год в целом, а также в течение теплого и холодного периодов.

Результаты расчетов для теплого периода года показаны на рис. 4, *а* — по данным наблюдений, рис. 4, *б* — по реанализу.

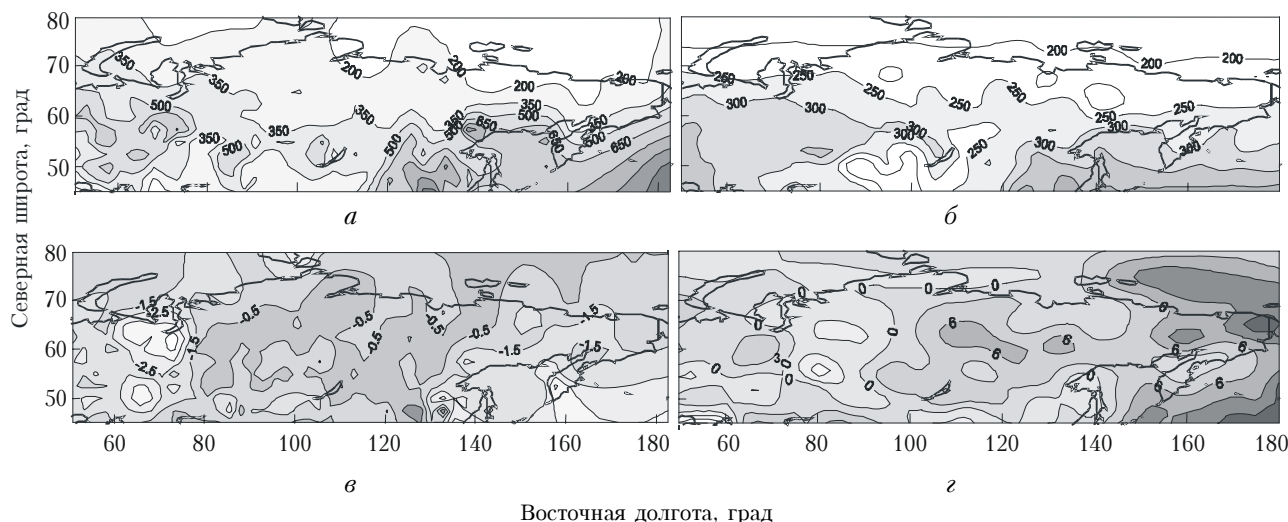


Рис. 4. Распределение среднего за теплый период 1975–2005 гг. количества осадков, мм (*а* — по данным наблюдений; *б* — по данным реанализа) и линейных трендов, мм/10 лет (*в* — по данным наблюдений; *г* — по данным реанализа)



Согласие полей как по характеру распределения осадков, так и по их количеству является удовлетворительным. Более гладкое поле реанализа является естественным следствием способа задания в нем исходных данных в ячейках, равномерно покрывающих территорию АТР.

Зона максимального количества осадков расположена в широтном поясе 50–65° с.ш., однако распределение осадков в пределах этой зоны является неоднородным. В пределах Западной и Средней Сибири осадки формируются, в основном, за счет ослабленного Уралом переноса влаги с Атлантики. Здесь их количество в южной зоне составляет для теплого периода 600–700 мм.

В среднем течении Амура и на Камчатке осадки формируются под влиянием Тихого океана, и их количество в теплый период достигало 700–900 мм.

В северной части АТР количество осадков теплого периода снижается до 200–300 мм, что связано с подавлением конвекции холодными арктическими морями. В холодный период года области максимального выпадения осадков расположены на юго-западе (300–600 мм) и юго-востоке (400–800 мм) АТР.

На рис. 4 представлены тренды изменения количества осадков теплого периода по данным наблюдения (рис. 4, в) и данным реанализа (рис. 4, з).

Из рис. 4, в следует, что за рассматриваемый 30-летний период тренды осадков теплого периода являются отрицательными (2–5 мм/10 лет) для всей территории АТР.

Примерно такая же ситуация имеет место для холодного периода, причем наибольшие значения трендов наблюдаются в областях с максимальным количеством осадков.

Что же касается динамики осадков по данным реанализа (рис. 4, з), то она приводит в сравнении с данными наблюдений к прямо противоположному выводу: рост количества осадков по всей территории АТР со значениями положительного тренда 2–5 мм/10 лет.

### Заключение

Постоянно обновляемые базы данных реанализов содержат обширную информацию о климатических параметрах на различных уровнях в тропосфере и нижней стратосфере, позволяющую воспроизводить с высоким временным разрешением поля температуры, давления, влажности, ветра и т.д., как в глобальном, так и в региональном масштабах.

Ограничениями являются невысокое (2,5×2,5°) пространственное разрешение и относительно небольшая (с 1948 г.) длительность временных рядов.

Наличие такой информации вызывает естественное желание использовать реанализ для решения различных задач, связанных с описанием глобального или регионального климата.

Однако, как показывают результаты этой работы, проблема верификации получаемых с помо-

щью реанализа результатов требует постоянного внимания.

Рассмотренные выше примеры показывают, что расчеты по данным реанализа линейных трендов климатических параметров с разной степенью достоверности воспроизводят выводы, следующие из наблюдений. В то же время пример с осадками показывает возможность получения из данных реанализа принципиально неверных результатов.

Линейные тренды дают количественную характеристику, описывающую наибольший временной масштаб изменчивости исследуемого ряда. Поэтому есть определенные основания надеяться, что реанализ будет более качественно описывать временные изменения меньших масштабов, например квазидвухлетнюю и квазидекадную изменчивость.

Такое утверждение основано на сравнении для нескольких станций наблюдения вейвлет-спектров рядов наблюдений температуры и давления и соответствующих вейвлет-спектров, полученных из данных реанализа. Высокая когерентность и отсутствие фазового сдвига наблюдаются для колебаний с масштабами, меньшими примерно 15 лет, тогда как большие масштабы воспроизводятся неудовлетворительно.

Тем не менее при отсутствии альтернативных данных применение реанализа является необходимым и оправданным первым приближением.

Следует отметить также, что качество данных реанализа существенно повысилось с начала 70-х гг. XX в., когда в массив исходных данных стала поступать информация с исследовательских ИСЗ.

1. IPCC Third Assessment Report. V. 1. Climate Change 2001 // The Scientific Basis. Cambridge Univ. Press, 2001. 881 p.
2. Кондратьев К.Я. Глобальные изменения климата: данные наблюдений и результаты численного моделирования // Исслед. Земли из космоса. 2004. № 2. С. 61–96.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2003. Т. 39. № 2. С. 166–185.
4. Итопитов И.И., Кабанов М.В., Комаров А.И., Кусков А.И. Современные природно-климатические изменения в Сибири: ход среднегодовых приземных температур и давления // Геогр. и природ. ресурсы. 2004. № 3. С. 90–96.
5. Павлов А.В., Малкова Г.В. Современные изменения климата на севере России. Новосибирск: Изд-во «Гео», 2005. 52 с.
6. Рубинштейн К.Г., Стерин А.М. Сравнение результатов реанализа с аэрологическими данными // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2002. Т. 38. № 3. С. 301–315.
7. Девис Дж. Статистический анализ в геологических исследованиях. М.: Статистика, 1977. 630 с.
8. Хромов С.П. Основы синоптической метеорологии. Л: Гидрометеоиздат, 1948. 210 с.
9. Мохов И.И., Петухов В.К. Центры действия в атмосфере и тенденции их изменения // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2000. Т. 36. № 3. С. 321–329.

10. Serreze M.C., Walsh J.E., Chapin F.S., III, Osterkamp T., Dyurgerov M., Romanovsky V., Oechel W.C., Morison J., Zhang T., Barry R.G. Observational

evidence of recent change in the Northern high-latitude environment // Clim. Change. 2000. V. 46. P. 159–207.

*E.I. Dukarev, I.I. Ippolitov, M.V. Kabanov, S.V. Loginov.* **Variation of climate at the Asian territory of Russia in the fall of XX century: comparison of observational and reanalysis data.**

Results of revealing temperature, pressure and precipitation fields and corresponding linear trends for Asian Russia territory for a climatically significant period 1975–2005 by data of observation stations and reanalysis are presented. The obtained results are compared and capabilities of the reanalysis method for reproduction of spatial-temporal variations of climatic parameters are estimated.