

УДК 551.465

## О СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ И КЛИМАТИЧЕСКОЙ РОЛИ ГЛОБАЛЬНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИИ

© 2016 г. В. И. Бышев, В. Г. Нейман, Ю. А. Романов, И. В. Серых, Д. М. Сонечкин

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва**e-mail: dsonech@ocean.ru*

Поступила в редакцию 22.04.2014 г.

После доработки 20.11.2014 г.

На основе данных за 1920–2012 гг. о среднемесечном давлении на уровне моря в узлах регулярной сетки  $5^\circ \times 5^\circ$ , покрывающей всю поверхность Земли, выполнена оценка статистической значимости Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО), основным региональным элементом которой является общеизвестное Южное Колебание в приэкваториальной Пацифике. Выявлено, что статистически значимые проявления ГАО покрывают почти весь тропический пояс, а также обнаруживаются в умеренных и высоких широтах обоих полушарий Земли.

DOI: 10.7868/S0030157416020039

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Феномен Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК), впервые описанный в работе Уокера [28], но затем практически забытый из-за ослабления его проявлений в реальной атмосфере 1930–1950-х гг., был затем снова отмечен как важный элемент глобальных изменений погоды в работах, опубликованных Берлаге в начале второй половины 20-го века [8, 9]. Позднее Бьеркнес [10] описал цепочку последовательных изменений в атмосфере и океане приэкваториальной Пацифики, предшествующих, по его мнению, наступлению теплой фазы ЭНЮК. Еще позже Виртки (см. [29] и последующие его работы) рассмотрел эту проблему в рамках теории взаимодействия атмосферы и океана.

В результате осуществления программы TOGA (the Tropical Ocean – Global Atmosphere program) была создана регулярная система метеорологических и океанографических наблюдений в приэкваториальной Пацифике. Это стимулировало многочисленные эмпирические работы западных исследователей, в которых было описано, как отражается ЭНЮК в данных наблюдений. В появившихся тогда же теоретических работах старались понять и воспроизвести основные черты ЭНЮК с помощью весьма простых моделей взаимодействия атмосферы и океана. Подробный обзор этих работ содержится в статье [23].

Начиная с работы [16], были выявлены конкретные связи ЭНЮК с аномальными атмосферными явлениями во многих районах мира, зачастую весьма удаленных от экваториальной Пацифики. ЭНЮК рассматривалось в этих работах как основная компонента главных мод межгодовой

климатической изменчивости. Более того, некоторые исследователи полагали, что ЭНЮК является непосредственным движителем этих мод. Однако в ряде более поздних работ было найдено, что феномену ЭНЮК предшествуют (а не следуют) климатические аномалии в районах Земли, весьма удаленных от экваториальной Пацифики. В том числе были выявлены такие аномалии в Атлантике: на севере [7] и к югу от экватора [3, 13, 17, 21, 25]. Из числа сравнительно недавних отечественных и зарубежных публикаций по проблеме дальних связей между ЭНЮК и погодно-климатическими аномалиями в различных районах Земли следует также отметить работы [1, 6, 11, 15, 18, 19, 22].

Для выявления дальних связей исследователи обычно вычисляли синхронные и асинхронные кросскорреляции индексов ЭНЮК с другими климатическими индексами или непосредственно со значениями метеорологических полей в узлах регулярной сетки. Пример расчета таких кросскорреляций можно найти в работе [12]. Кросскорреляции выявляют основные очаги дальних связей ЭНЮК, но не определяют моды глобальной климатической изменчивости как таковые. Только недавно в работе [14] было предложено вычислять с этой целью собственные векторы матрицы попарных кросскорреляций климатических индексов. Оказалось, что всего четыре первых вектора описывают две трети изменчивости всей совокупности индексов. Можно было бы назвать эти векторы главными климатическими модами. Но этому препятствует то, что они определены только на довольно небольшом множе-

стве принятых во внимание индексов, а не на метеорологических полях, покрывающих всю Землю.

Этот недостаток был преодолен в работе [2]. В ней было вычислено глобальное поле давления на уровне моря (ДУМ), осредненное по десяти событиям Эль-Ниньо, имевшим место за 1950–2010 гг. Отдельно было рассчитано среднее поле по пяти событиям Ла-Нинья, наблюдавшимся в тот же период. Затем было вычислено поле разности между этими осредненными полями. Как и ожидалось, в построенном поле разностей присутствует очень существенная отрицательная аномалия ДУМ в канонической для ЭНЮК области Тихого океана, а также сопряженная с ней существенная положительная аномалия ДУМ в области над Индонезийским архипелагом и севером Австралии. При этом совершенно неожиданно обнаружилось, что эта последняя область распространяется также к западу по всей тропической и субтропической зоне обоих полушарий вплоть до восточного побережья Южной Америки. Эта область охватывается узкими лентами слабых отрицательных аномалий ДУМ, симметрично расположенными в умеренных широтах обоих полушарий, а ближе к полюсам опять имеют место довольно значительные положительные аномалии ДУМ. В совокупности, указанные аномалии покрывают всю поверхность Земли. Поэтому авторы указанной работы назвали их Глобальной атмосферной осцилляцией (ГАО), текущая фаза которой определяется тем, какое из двух событий ЭНЮК – Эль-Ниньо или Ла-Нинья – наступило.

В данной статье ГАО рассматривается на основе более длительных глобальных рядов метеорологических наблюдений, включающих примерно по два десятка событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Впервые оценивается статистическая значимость этой осцилляции и изучаются синхронные связи между проявлениями ее внетропических компонент и собственно ЭНЮК.

## 2. МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДИКА ИХ ОБРАБОТКИ

Анализировались глобальные среднемесячные поля атмосферного давления на уровне моря (HadSLP2) и приземной температуры воздуха (CRUTEM4) с пространственным разрешением  $5^\circ \times 5^\circ$  за период 1850–2012 гг., построенные в английском метеорологическом центре им. Дж. Хедли [5, 20]. После оценки полноты этих данных было решено включить в расчеты поля только за период 1920–2012 гг., поскольку до 1920 г. количество исходных материалов слишком мало.

События Эль-Ниньо и Ла-Нинья обычно определяются по общепризнанным индексам Niño 3.4 и Niño 3, представляющим собой средние значения аномалий температуры водной по-

верхности Тихого океана (далее обозначаемой как ТПО) в экваториальных областях ( $5^\circ$  с.ш.– $5^\circ$  ю.ш.,  $170^\circ$  з.д.– $120^\circ$  з.д.) и ( $5^\circ$  с.ш.– $5^\circ$  ю.ш.,  $150^\circ$  з.д.– $90^\circ$  з.д.) соответственно. Поскольку эти области частично перекрываются, было решено использовать в расчетах средние аномалии ТПО в объединенной области ( $5^\circ$  с.ш.– $5^\circ$  ю.ш.,  $170^\circ$  з.д.– $90^\circ$  з.д.). Эти аномалии рассчитывались относительно среднего сезонного хода за весь рассматриваемый период 1920–2012 гг. При этом производилось скользящее трехмесячное осреднение данных, а встречающиеся в исходных данных небольшие пропуски были исключены из рассмотрения.

Были составлены 2 выборки осредненных данных ТПО и ДУМ. В первую выборку попали 228 месяцев, соответствующие 23-м событиям Эль-Ниньо, определенным следующими двумя условиями: 1) значение расширенного индекса для выбранного месяца должно быть больше  $+0.5^\circ\text{C}$ , и 2) непрерывная продолжительность события должна составлять более 5 месяцев. Во вторую выборку попали 238 месяцев, соответствующих 25-ти событиям Ла-Нинья, которые определены аналогичными условиями за исключением того, что значение расширенного индекса должно быть меньше  $-0.5^\circ\text{C}$ . В сумме обе выборки составили около 40% количества рассматривавшихся месяцев. Остальные месяцы ряда, когда климатические условия считались нейтральными, не рассматривались. Для каждой выборки были подсчитаны средние глобальные поля ДУМ и затем поле их разности.

## 3. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ГАО

Глобальное поле разности ДУМ, рассчитанное указанным выше способом (рис. 1), очень похоже на разностное поле, приведенное в упомянутой работе [2]. Кроме того, конфигурация очагов больших положительных и отрицательных разностей ДУМ на рис. 1 очень напоминает конфигурацию очагов больших положительных и отрицательных кросскорреляций между значением ДУМ в г. Дарвин (север Австралии) и соответствующими значениями в разных географических точках Северного и Южного полушарий, которые были получены в работе [26] (см. рис. 1 в этой статье). Таким образом, можно сказать, что, помимо всего прочего, ГАО – это действительно синтез всех ранее известных и неизвестных дальних связей ЭНЮК.

Обращает на себя внимание обширная область положительной разности ДУМ, включающая в себя низкие широты ( $30^\circ$  с.ш.– $30^\circ$  ю.ш.) Индийского и Атлантического океанов, Африку, Южную Азию, Индонезийский архипелаг, Австралию и западную область низких широт Тихого океана. Довольно значительные положительные

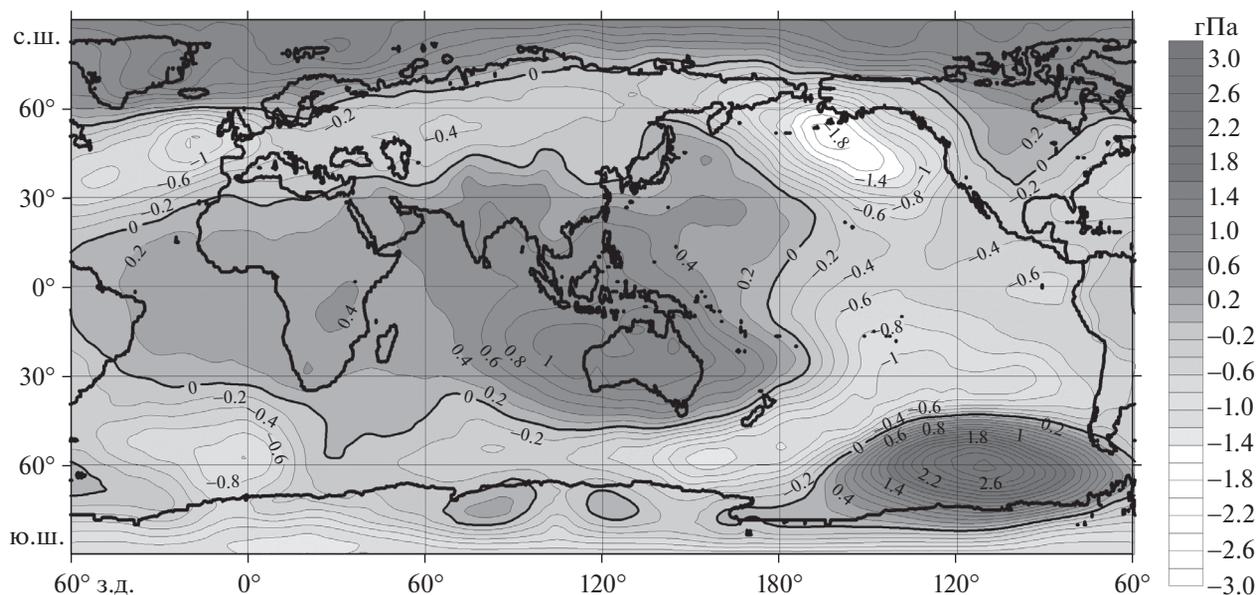


Рис. 1. Барическая характеристика ГАО – глобальное поле разности ДУМ, соответствующая по времени событиям Эль-Ниньо и Ла-Нинья, наблюдаемым за 1920–2012 гг.

разности наблюдаются также над Северным Ледовитым океаном, Скандинавией, Гренландией, Канадой и на юго-востоке Тихого океана. Отрицательная разность ДУМ окаймляет всю область положительной аномалии в низких широтах, а также наблюдается в низких и умеренных широтах (60° с.ш.–45° ю.ш.) в центре и на востоке Тихого океана.

Английский метеорологический центр предоставляет не только среднemesячные данные ДУМ, но и их погрешности. На рис. 2а представлено глобальное поле погрешности оценок ДУМ для выборки Эль-Ниньо и Ла-Нинья за период 1920–2004 гг. (более поздние данные отсутствуют). Обращает на себя внимание, что в низких широтах (30° с.ш.–30° ю.ш.) погрешности относительно невысоки (менее 0.1 гПа). Исключением являются отдельные районы Африки, Южной Америки, Австралии и Тибета, где погрешности достигают высоких величин вследствие малого количества исходных данных. В умеренных широтах Северного полушария (30° с.ш.–60° с.ш.) присутствуют районы с высокими и низкими погрешностями, что зависит от количества исходных измерений ДУМ. Высокие широты Северного (60° с.ш.–90° с.ш.), а также умеренные и высокие широты Южного полушария (30° ю.ш.–90° ю.ш.) отмечены высокими погрешностями, что является следствием малого числа и нерегулярности исходных измерений в этих районах.

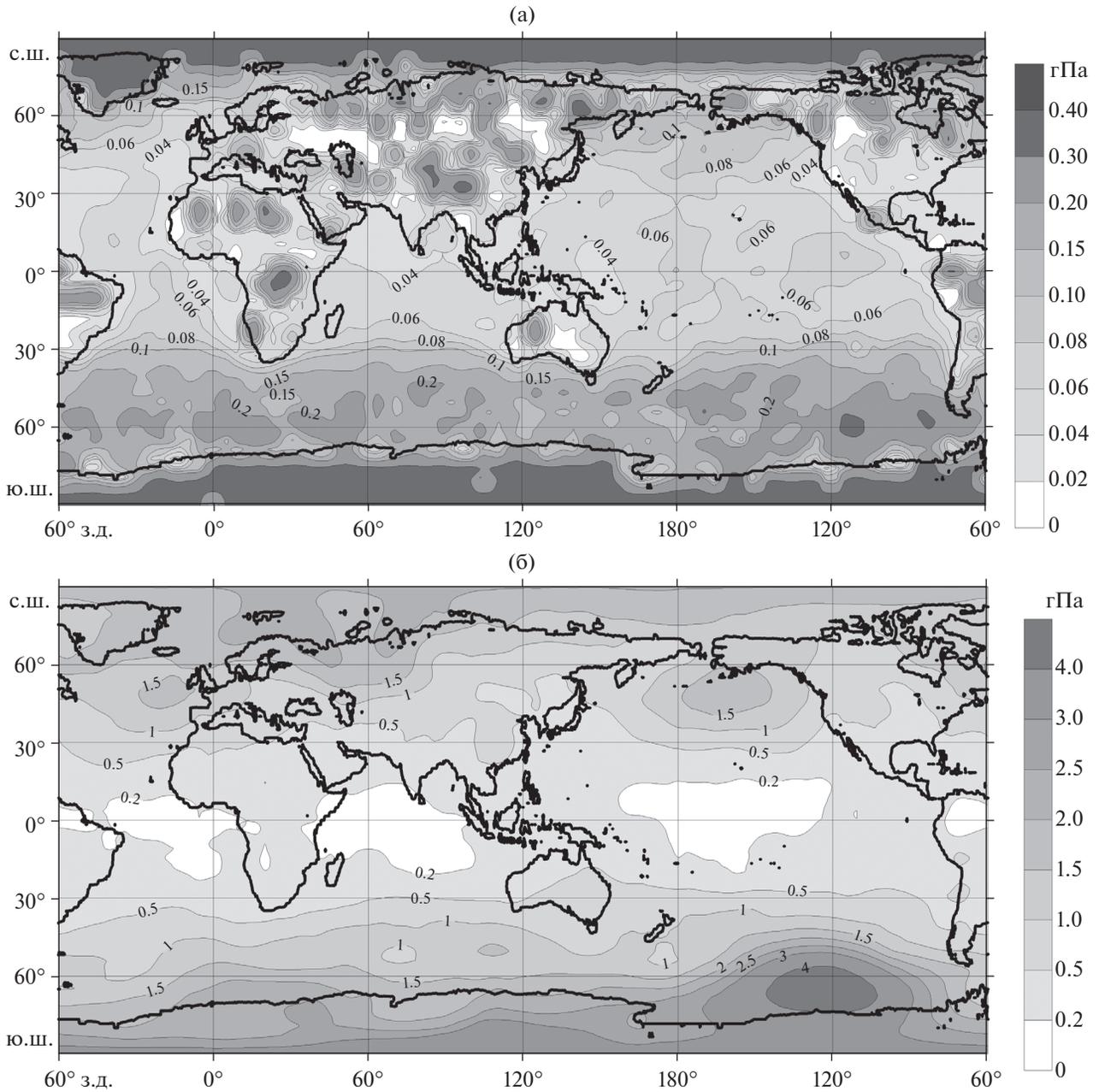
Для обеих выборок (событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья) были рассчитаны среднеквадратические отклонения средних полей ДУМ. На рис. 2б показано поле, являющееся результатом этих расчетов для временной выборки, соответствующей собы-

тиям Эль-Ниньо. Соответствующее поле для выборки событий Ла-Нинья практически полностью его повторяет. Обращают на себя внимание относительно низкие среднеквадратические погрешности во всем тропическом поясе. Однако в умеренных и приполярных широтах разброс величин довольно велик (как правило, более 1 гПа).

На основе полученных полей средней разности ДУМ между событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья (рис. 1), среднеквадратических погрешностей этой разности (рис. 2б) и с учетом числа степеней свободы, равного в нашем случае 47, было построено поле значений критерия  $t$ -Стьюдента (рис. 3).

На рис. 3 видна область чрезвычайно высоких значений ( $t > 8$  по модулю) в районах, характерных для Южного Колебания – Эль-Ниньо. В этой области видны два отдельных очага особенно больших модулей  $t$ , которые можно связать с классическими Эль-Ниньо (восточный очаг у берегов Центральной Америки) и центральными Эль-Ниньо – Модоки (западный очаг). Столь высокие значения  $t$  говорят о том, что разности ДУМ в этих очагах, указанные на рис. 1, абсолютно достоверны.

На самом деле, это – неизбежный результат формирования выборок событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья по заданному высокому значению модуля аномалии ТПО в расширенном районе Niño 3 плюс Niño 3.4. Аномалии же температуры и давления в этом районе сильно коррелированы. В результате средняя разность ДУМ в этом районе и его окрестностях тоже должна быть велика. Более интересным является то, что весьма высокие зна-

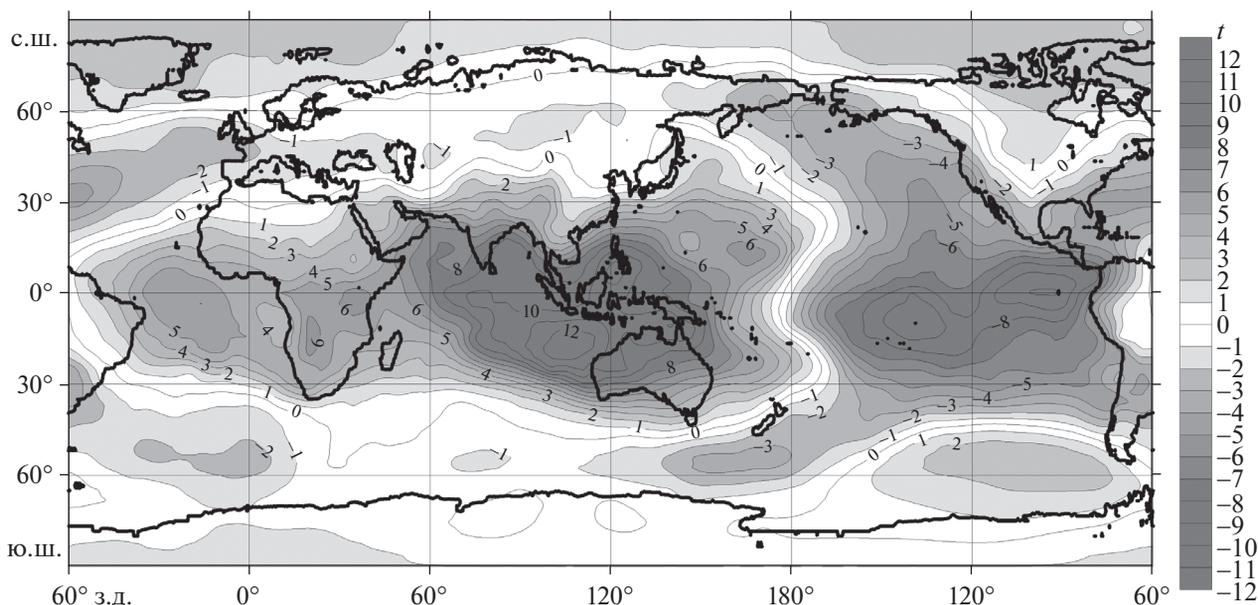


**Рис. 2.** (а) – Глобальное поле погрешности оценок ДУМ для выборок, соответствующих эпизодам Эль-Ниньо и Ла-Нинья за период 1920–2004 гг.; (б) – глобальное поле среднеквадратической погрешности для выборки Эль-Ниньо.

чения модуля  $t$  (более 4, с превышением 5 в отдельных узлах сетки) имеются в южных тропических широтах Атлантики, Африки и Индийского океана. Вероятность того, что разность ДУМ на самом деле нулевая, при таком  $t$  составляет менее чем 0.1%. Таким образом, ненулевая разность в поле ДУМ между событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья, или, иначе говоря, межгодовая ГАО в явной форме проявляется во всем тропическом поясе Земли, за исключением только севера Южной Америки.

Интересно отметить, что область, занятая чрезвычайно высокими отрицательными значе-

ниями  $t$  в характеристической области Эль-Ниньо в центре и на востоке экваториальной зоны Тихого океана, существенно меньше по площади, чем сопряженная с ней область чрезвычайно больших положительных значений  $t$  в Индонезийском регионе, Индийском океане, Африке и Атлантическом океане. Такое соотношение размеров указанных областей свидетельствует о том, что ЭНЮК следует рассматривать как структурный элемент более всеобъемлющего природного процесса – глобальной атмосферной осцилляции.



**Рис. 3.** Глобальное поле значений критерия  $t$ -Стюдента статистической значимости ненулевой средней разности глобальных полей ДУМ между событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Закрашены области, где средняя разность ДУМ отлична от нуля с вероятностью не менее чем 95% ( $t > 2$  по модулю).

Стюдента  $t$ -тест указывает, что ГАО распространяется на весьма обширную географическую область почти всех южных тропиков. Кроме того, интегрируя разности ДУМ, показанные на рис. 1, отдельно по обеим характеристическим областям Эль-Ниньо, можно убедиться, что первый интеграл существенно меньше второго по абсолютной величине. Вспомним теперь, что масса атмосферы не меняется со временем, так что интеграл разности ДУМ, подсчитанный по территории всей Земли, должен, вообще говоря, быть равен нулю. Фактически он может несколько отклоняться от нуля, главным образом из-за ошибок приведения давления, измеренного на сухопутных станциях, к уровню моря. Тем не менее, эти отклонения не могут быть столь велики, как разность интегралов ДУМ, подсчитанных по отдельности по двум вышеупомянутым областям очень больших значений модуля  $t$  в южном тропическом поясе. Поэтому вне этого пояса должны существовать области, где разность ДУМ между двумя основными фазами ГАО действительно отрицательна.

Помимо двух описанных выше очагов очень больших значений  $t$  на рис. 3 обращает на себя внимание X-образная структура отрицательных значений  $t$ , которые превосходят 2 по абсолютной величине. Перекрестье этой структуры, расположенное в экваториальной зоне Тихого океана ( $90^\circ$  з.д.— $150^\circ$  з.д.), составляет очаг самых больших отрицательных значений  $t$  в характеристической области Эль-Ниньо. Ветви этой структуры расходятся от перекрестья в четырех направлени-

ях: к северо-западу, северо-востоку, юго-западу и юго-востоку. Северо-западная ветвь оканчивается на Чукотке, ей соответствует область отрицательной разницы давления между событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья, экстремум которой (около  $-1.8$  гПа, см. рис. 1а) расположен в районе Алеутского минимума ДУМ. В самом районе Алеутского минимума значение  $t$  заметно меньше 4 по абсолютной величине. Причина этого понятна: там очень велика среднеквадратическая погрешность ДУМ (более 1.5 гПа, см. рис. 2а). К западу от Чукотки ветвь отрицательных значений  $t$  совсем ослабевает по абсолютной величине (абсолютная величина  $t < 1$ ), так что вероятность того, что фактическая разность ДУМ между событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья является нулевой, существенно превышает 10%. При такой вероятности ненулевое различие между сравниваемыми средними величинами принято трактовать как статистически незначимое.

Вторая ветвь постепенно уменьшающихся по абсолютной величине отрицательных значений  $t$  вытянута к северо-востоку, в сторону Северной Америки. Там значение  $t$  все еще больше 3 по абсолютной величине, и соответствующая разность ДУМ значима на уровне более 99%. Эта ветвь вытянута еще далее (до Западной Европы), где абсолютная величина  $t$  снижается до 2. Это значит, что разницу ДУМ можно еще считать ненулевой, но уже с вероятностью менее 95%. Наконец, на продолжении этой ветви в Восточную Европу статистическая значимость полностью теряется, хотя на рис. 3 видно продолжение ветви на север

Азии, где она встречается со статистически незначимым продолжением первой вышеописанной ветви от Чукотки.

Третья ветвь отрицательных значений  $t$  вытянута на юго-запад в сторону Новой Зеландии, где ее статистическая значимость полностью исчерпывается. На рис. 3 можно видеть ее продолжение в южную часть Индийского океана. Там этот статистически незначимый остаток третьей ветви встречается с окончанием четвертой ветви, вытянутой от района характеристической области Эль-Ниньо к юго-востоку, через юг Южной Америки, где разность давления еще значима (модуль  $t > 3$ ), и далее в направлении Южной Атлантики, где значимость уже теряется.

Симметрично, к северу и югу от перекрестья X-образной структуры, видны два очага значений  $t$ , превышающих по модулю двойку. Один очаг расположен над севером США и центром Канады, а второй, гораздо более обширный очаг – к западу от мыса Горн и пролива Дрейка. Формально ненулевые оценки разности ДУМ между фазами в обоих очагах статистически незначимы. В первом очаге это, в основном, обусловлено тем, что средняя разность ДУМ действительно очень мала (заметно меньше чем 1 гПа, см. рис. 1). Во втором очаге средняя разность ДУМ вполне велика (более 2.0 гПа, см. рис. 1), но очень велика изменчивость давления (более 4.0 гПа, см. рис. 26). Тем не менее, второй очаг, которому на рис. 1 соответствует очень большая (более 2.0 гПа) положительная разность ДУМ, по-видимому, реален, т.е. в разные фазы ГАО в полях аномалий там формируется либо антициклон, либо циклон. Основание для такого предположения дают некоторые работы западных исследователей, опубликованные еще в 1980-х гг., например, [27]. К подобному заключению приводит также анализ отечественных экспедиционных наблюдений за айсбергами, проведенных примерно в те же годы в крайней юго-восточной части Тихого океана. А именно, во время экспедиций, приходившихся на годы Эль-Ниньо, айсберги в том регионе отмечались далеко к северу от Антарктиды, в то время как в годы Ла-Нинья столь низкоширотного распространения айсбергов не наблюдалось [4, 24].

Следующим шагом в исследовании природы ГАО после получения доказательства ее статистической значимости должен, по-видимому, стать поиск причин и источников формирования этого климатического возмущения. Направление такого поиска для авторов будет определяться, в первую очередь, их приверженностью к гипотезе о том, что глобальная климатическая система представляет собой планетарный осциллятор, функционирующий под воздействием многочисленных геофизических и астрономических факторов. Результатом работы этого осциллятора яв-

ляется наблюдаемый в природе широкий спектр короткопериодных климатических колебаний, к числу которых, по всей вероятности, относится и ГАО. Предварительно заметим, что ранее [2] было обращено внимание на волновой характер ГАО, проявляющийся, в частности, в виде термического прилива в атмосфере, возникающего накануне тихоокеанских событий Эль-Ниньо.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные в данной работе  $t$ -Стюдент тесты статистической значимости ненулевых средних разностей глобальных полей ДУМ между 23-мя событиями Эль-Ниньо и 25-ю событиями Ла-Нинья дали высокие положительные результаты практически для всего тропического пояса Земли, исключая только северо-восток Южной Америки. Полоса почти нулевых значений критерия  $t$ -Стюдента, проходящая примерно по меридиану смены даты, и другая полоса, окаймляющая экваториальную Атлантику, только подтверждают высокую положительную значимость ненулевых разностей ДУМ в характеристических для Южного Колебания областях приэкваториальной Пацифики (большая отрицательная разность ДУМ) и Индонезийского архипелага (большая положительная разность ДУМ). Кроме того, были найдены полосы высокой статистической значимости отрицательных разностей ДУМ (на 95% уровне), вытягивающиеся от центра Тихого океана в умеренные и даже высокие широты. Эти полосы расположены почти симметрично относительно экватора, составляя в своей совокупности X-образную структуру, характеризующую одну из региональных особенностей ГАО. В сторону полюсов от этой X-образной структуры примерно вдоль меридиана  $90^\circ$  з.д. формируются также очаги положительных разностей ДУМ того же уровня значимости, что и в полосах X-образной структуры. Для высоких широт сделать определенное заключение не удалось из-за очень высокой изменчивости ДУМ в этих широтах. Таким образом, можно считать доказанным, что Глобальная Атмосферная Осцилляция, действительно, реально существует в природе, в связи с чем сопутствующие ей аномалии характеристики гидрометеорологических полей должны рассматриваться как важный фактор короткопериодной климатической изменчивости.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-50-00095.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. О глобальном характере явления Эль-Ниньо в климатической системе Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 200–208.

2. *Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В.* Эль-Ниньо как следствие глобальной осцилляции в динамике климатической системы Земли // Докл. РАН. 2012. Т. 446. № 1. С. 89–94.
3. *Козленко С.С., Мохов И.И., Смирнов Д.А.* Анализ причинно-следственных связей между Эль-Ниньо в Тихом океане и его аналогом в экваториальной Атлантике // Изв. РАН. Физ. атм. и океана. 2009. Т. 45. № 6. С. 754–763.
4. *Кошляков М.Н., Романов А.А., Романов Ю.А.* Эль-Ниньо – Южное колебание и распределение айсбергов в тихоокеанской Антарктике // Океанология. 1998. Т. 38. № 4. С. 485–495.
5. *Allan R.J., Ansell T.J.* A new globally-complete monthly historical gridded mean sea level pressure data set (HadSLP2): 1850–2004 // J. Climate. 2006. V. 19. P. 5816–5846.
6. *Ayers J.M., Strutton P.G.* Nutrient variability in Subantarctic Mode Waters forced by the Southern Annular Mode and ENSO // Geophys. Res. Lett. 2013. V. 40. P. 3419–3423.
7. *Bailey J.S.* Temperature anomalies in high northerly latitudes and their link with the El Niño/Southern Oscillation // Ann. Geophysicae. 1998. V. 16. № 7. P. 1523–1526.
8. *Berlage H.P.* Fluctuations of the general atmospheric circulation of more than one year, their nature and prognostic value // Modedelingen en Verhandelingen. 1957a. № 69. P. 1–52.
9. *Berlage H.P.* The Southern Oscillation and World Weather // Modedelingen en Verhandelingen. 1957b. № 88. P. 83–99.
10. *Bjerkness J.* Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific // Mon. Wea. Rev. 1969. V. 97. № 3. P. 163–172.
11. *Boschat G., Terray P., Masson S.* Extratropical forcing of ENSO // Geophys. Res. Lett. 2013. V. 40. P. 1605–1611.
12. *Broennimann S., Sticher A., Griesser T. et al.* Variability of large-scale atmospheric circulation indices for the northern hemisphere during the past 100 years // Meteorol. Zeitschrift. 2009. V. 18. № 4. P. 379–396.
13. *Chang P., Fang Y., Saravanan R. et al.* The cause of the fragile relationship between the Pacific El Niño and the Atlantic Niño // Nature. 2006. V. 443. P. 324–328.
14. *De Viron O., Dikcey J.O., Ghil M.* Global modes of climate variability // Geophys. Res. Lett. 2013. V. 40. P. 1832–1837.
15. *Diaz H.F., Hoeling M.P., Eischeid J.K.* ENSO variability, teleconnections and climate change // Intern. J. Climatol. 2001. V. 21. P. 1845–1862.
16. *Halpert M.S., Ropelewski C.F.* Surface-temperature patterns associated with the Southern Oscillation // J. Climate. 1992. V. 5. № 6. P. 577–593.
17. *Ham Y.-G., Kug J.-S., Park J.-Y.* Two distinct roles of Atlantic SSTs in ENSO variability: North Tropical Atlantic SST and Atlantic Niño // Geophys. Res. Lett. 2013. V. 40. P. 4012–4017.
18. *Handoh I.C., Bigg G.R., Matthews A.J., Stevens D.P.* Interannual variability of the tropical Atlantic independent of and associated with ENSO: Part II. The South tropical Atlantic // Intern. J. Climatol. 2006. V. 26. P. 1957–1976.
19. *Jevrejeva S., Moore J.C., Grinsted A.* Influence of the Arctic Oscillation and El-Niño – Southern Oscillation (ENSO) on ice conditions in the Baltic sea: The wavelet approach // J. Geophys. Res. 2003. V. 108. 4677. doi: 10.1029/2003jD003417.
20. *Jones P.D., Liste D.H., Osborn T.J. et al.* Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010 // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. № D05127 I doi: 10.1029/2011j017139.
21. *Keenlyside N.S., Ding H., Latif M.* Potential of equatorial Atlantic variability to enhance El Niño prediction // Geophys. Res. Lett. 2013. V. 40. P. 2278–2283.
22. *Lumpkin R., Johnson G.C.* Global ocean surface velocities from drifters: mean, variance, El Niño–Southern Oscillation response, and seasonal cycle // J. Geophys. Res. 2013. V. 118. № 6. P. 2992–3006. doi: 10.1002/jgrc.20210
23. *Neelin J. D., Battisti D. S., Hirst A. C. et al.* ENSO theory // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. No. C7. P. 14261–14290.
24. *Romanov Yu.A., Romanova N.A., Romanov P.* Changing effect of El Niño on Antarctic iceberg distribution: From canonical El Niño to El Niño Modoki // J. Geophys. Res. 2014. V. 119. № C1. P. 595–614.
25. *Servain J., Picaut J., Merle J.* Evidence of remote forcing in the equatorial Atlantic Ocean // J. Physical. Oceanogr. 1982. V. 12. № 5. P. 457–463.
26. *Trenberth K.E., Shea D.J.* On the evolution of the Southern Oscillation // Monthly Weather Rev. 1987. V. 115. № 12. P. 3078–3096.
27. *Van Loon H., Shea D.J.* The Southern Oscillation. Part IV: Anomalies of Sea Level Pressure on the Southern Hemisphere and on Pacific Sea Surface Temperature during Development of a Warm Event // Monthly Weather Rev. 1987. V. 115. № 2. P. 370–379.
28. *Walker G.T.* Correlation in seasonal variations of weather, VIII: A preliminary study of World weather // Memoirs of the India Meteorological Department. 1923. V. 24. Part 4. P. 75–131.
29. *Wyrki K.* El-Niño – the dynamic response of the equatorial Pacific ocean to atmospheric forcing // J. Physical. Oceanogr. 1975. V. 5. № 4. P. 572–584.

## Statistical and Climatological Significance of the Global Atmospheric Oscillation

V. I. Byshev, V. G. Neiman, Yu. A. Romanov, I. V. Serykh, D. M. Sonechkin

An assessment of the statistical significance of the Global Atmospheric Oscillation (GAO) whose main element is the well-known El-Niño – Southern Oscillation in the equatorial Pacific was performed on the basis of the data of monthly mean atmospheric pressure at the sea level at the nodes of a regular 5° by 5° grid covering the entire surface of the Earth. The data were collected in 1920–2012. It was found that the statistically reliable GAO signals cover almost the entire tropical zone and they also appear in mid-latitudes and high latitudes of both hemispheres of the Earth.