

Глобальные атмосферные осцилляции в динамике современного климата

В.И. Бышев, В.Г. Нейман, Ю.А. Романов, И.В. Серых

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва 117997, Россия

E-mail: vneiman2007@yandex.ru

В работе подтверждена и получила дальнейшее развитие высказанная ранее гипотеза о существовании внутривековых осцилляций термодинамических характеристик современной климатической системы. С помощью композитного анализа многолетних данных о планетарных полях гидрометеорологических и гидрофизических параметров океана и атмосферы в динамике климата обнаружены квазициклические колебания с периодами 3–4 года и 20–30 лет. В наиболее явной форме эти колебания выражаются в виде крупномасштабного перераспределения массы атмосферы, сопровождаемого существенным усилением положительной аномалии давления в экваториально-тропическом поясе Земли и формированием других крупных барических аномалий разных знаков. Полученные в работе результаты дают основание полагать, что известные многомодовые региональные флуктуации в динамике климатической системы (Северо-Атлантическое, Северо-Тихоокеанское, Южное и др. колебания) являются производными, или структурными элементами, глобальных атмосферных осцилляций (ГАО), временной масштаб которых лежит в пределах от нескольких лет до десятилетий. Обнаружено, что с мультideкадными ГАО связаны фазовые переходы во временной структуре внутривековой изменчивости современного климата. На примере выявленной в работе эволюции индексов крупномасштабных термодинамических процессов в климатической системе региона Северной Атлантики определены временные характеристики отдельных квазидетерминированных сценариев глобального климата, сменившихся на протяжении последнего столетия. Аналитическое выявление внутривековых ГАО дало возможность сформулировать новую концепцию физического механизма запуска тихоокеанского явления Эль-Ниньо. Впервые в истории изучения этого процесса на основе эмпирических данных показано, что известные климатические события в рамках системы Эль-Ниньо – Южное колебание не ограничиваются региональным масштабом тихоокеанского бассейна, а должны рассматриваться в качестве структурного звена глобальной атмосферной осцилляции.

Ключевые слова: океан, атмосфера, взаимодействие, климат, климатическая система, изменчивость, атмосферное давление, температура, теплосодержание, скорость ветра, циркуляция, глобальная атмосферная осцилляция.

Введение

Изменчивость современного климата Земли характеризуется широким спектром колебаний (Изменения климата, 1980; Кондратьев, 1992; Huybers, Curry, 2006; Solomon S. et al., 2007). Среди них имеют место как резонансные возмущения на частотах, соответствующих внешним источникам вынуждающих сил, так и внутрисистемные флуктуации, имеющие характер автоколебаний. Изучение спектра климатических изменений и идентификация внешних и внутренних источников наблюдаемых возмущений входят в круг основных задач современной климатологии. Успешному решению таких задач во многом способствуют планетарные наблюдения окружающей среды с помощью спутниковых технологий, которые открывают перспективу мониторинга глобальных и региональных изменений в динамике климатической системы Земли.

Для оценки характеристик региональных климатических изменений принято использовать индексы тех или иных колебаний – Северо-Атлантического, Северо-Тихоокеанского, Арктического, Южного, Антарктической циркумполярной волны и др. (Bronnimann et al., 2009). Каждая в отдельности и в своей совокупности названные осцилляции являются показателем некоторых особенностей внутренней динамики климатической системы. Определенная физическая общность частотно-амплитудных характеристик всех этих и им подобных колебаний наводила на мысль о существовании атмосферной осцилляции глобального масштаба, динамическая структура которой включает в себя все перечисленные выше региональные звенья общей циркуляции атмосферы.

После этого на повестке дня появились задачи получения более глубокого представления о глобальных атмосферных осцилляциях в связи с их ролью в структуре изменчивости современного климата, а также разработки соответствующих индексов, позволяющих оперативно и адекватно детектировать это природное явление. Попытка решения части этих задач предпринята в настоящей работе.

Использованные данные и методы их обработки

Анализ пространственной структуры аномалий гидрометеорологических характеристик, возникающих под влиянием глобальных атмосферных осцилляций, был выполнен на основе среднемесячных полей атмосферного давления (P) на уровне моря (HadSLP2) и (T) приповерхностной температуры (CRUTEM4), подготовленных с разрешением 5°ш×5°д английским Центром Met Office Hadley за период 1900–2012 гг. (Allan, Ansell, 2006; Jones et al., 2012). Как было показано ранее (Бышев и др., 2012), деформационные поля P и T, отражающие межгодовую ГАО, включают в себя соответствующие эффекты Эль-Ниньо – Ла-Нинья. С учетом данного обстоятельства оценка возмущений P и T, обусловленных проявлением ГАО на межгодовом временном масштабе была выполнена по формуле (1) на основе ансамблей глобальных полей этих характеристик, совпадающих по времени с событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья. В свою очередь, сами эти события выделялись по пороговым значениям аномалий ТПО в области Nina3 (±5°ш; 150-90°д): по температуре ±0.5° и по продолжительности – 5 месяцев, согласно (Петросянц и др., 2005).

$$X_B(\varphi, \lambda, z_0) = \frac{1}{N_{EL}} \sum_{i=1}^{N_{EL}} \delta X_{EL}(\varphi, \lambda, z_0, t_i) - \frac{1}{N_{LA}} \sum_{j=1}^{N_{LA}} \delta X_{LA}(\varphi, \lambda, z_0, t_j) \quad (1)$$

Для получения независимых результатов указанные в формуле (1) разности средних полей рассчитывались отдельно для двух полувековых периодов – 1900–1949 гг. и

1950–1999 гг. Первый период включал 9 событий Эль-Ниньо и 6 событий Ла-Нинья, второй – соответственно, 10 и 5. В данной работе на *рис. 1* приводятся результаты этих расчетов для второй половины XX века, которые весьма похожи на то, что получено для первого периода.

Отражение ГАО в гидрометеорологических полях на междекадном временном масштабе (*рис. 2*) оценивалось по формуле (2) путем расчета разностей средних полей для двух последовательных фаз климата: 1975-1999 гг. и 1950-1974 гг. (Бышев и др., 2009).

$$X_H(\varphi, \lambda, z_0) = \frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} X(\varphi, \lambda, z_0, t_i) - \frac{1}{N_2} \sum_{j=1}^{N_2} X(\varphi, \lambda, z_0, t_j) \quad (2)$$

Обозначения в формулах (1, 2): $X(\varphi, \lambda, z_0, t)$ – анализируемое поле давления на уровне моря $P(\varphi, \lambda, z_0, t)$ или приповерхностной температуры $T(\varphi, \lambda, z_0, t)$; N_{EL} , N_{LA} и N_1 , N_2 – временные выборки (количество среднемесячных значений X , либо аномалий δX) глобальных полей, составленные во временной привязке к эпизодам Эль-Ниньо и Ла-Нинья в первом случае и фаз климата во втором, соответственно; φ , λ , z_0 , t – широта, долгота, горизонт и время; δX – аномалии атмосферного давления и приповерхностной температуры после удаления климатического сезонного хода. Нижние индексы В и Н у характеристик X_V , X_H относятся к высокочастотным (внутридекадным) и низкочастотным (междекадным) ГАО.

Обсуждение результатов

В первых публикациях о межгодовой глобальной атмосферной осцилляции (Бышев и др., 2012) она представлена в виде аномальной структуры планетарного барического поля, в котором должны находить отражение соответствующие моды всех известных региональных колебаний давления между основными центрами действия атмосферы. Центральным элементом барической структуры этой осцилляции в прямом и переносном смысле является крупномасштабная положительная аномалия в экваториально-тропической области, опоясанная зоной пониженного давления вдоль её внешней границы. На *рис. 1* видно, что эта аномалия простирается в зональном направлении от западной границы Атлантического океана на восток до линии перемены дат, а в меридиональном плане – между 30° ю.ш. и 30° с.ш. Ширина зоны пониженного давления за пределами северной и южной границ положительной аномалии изменяется в пределах 2000–3000 км.

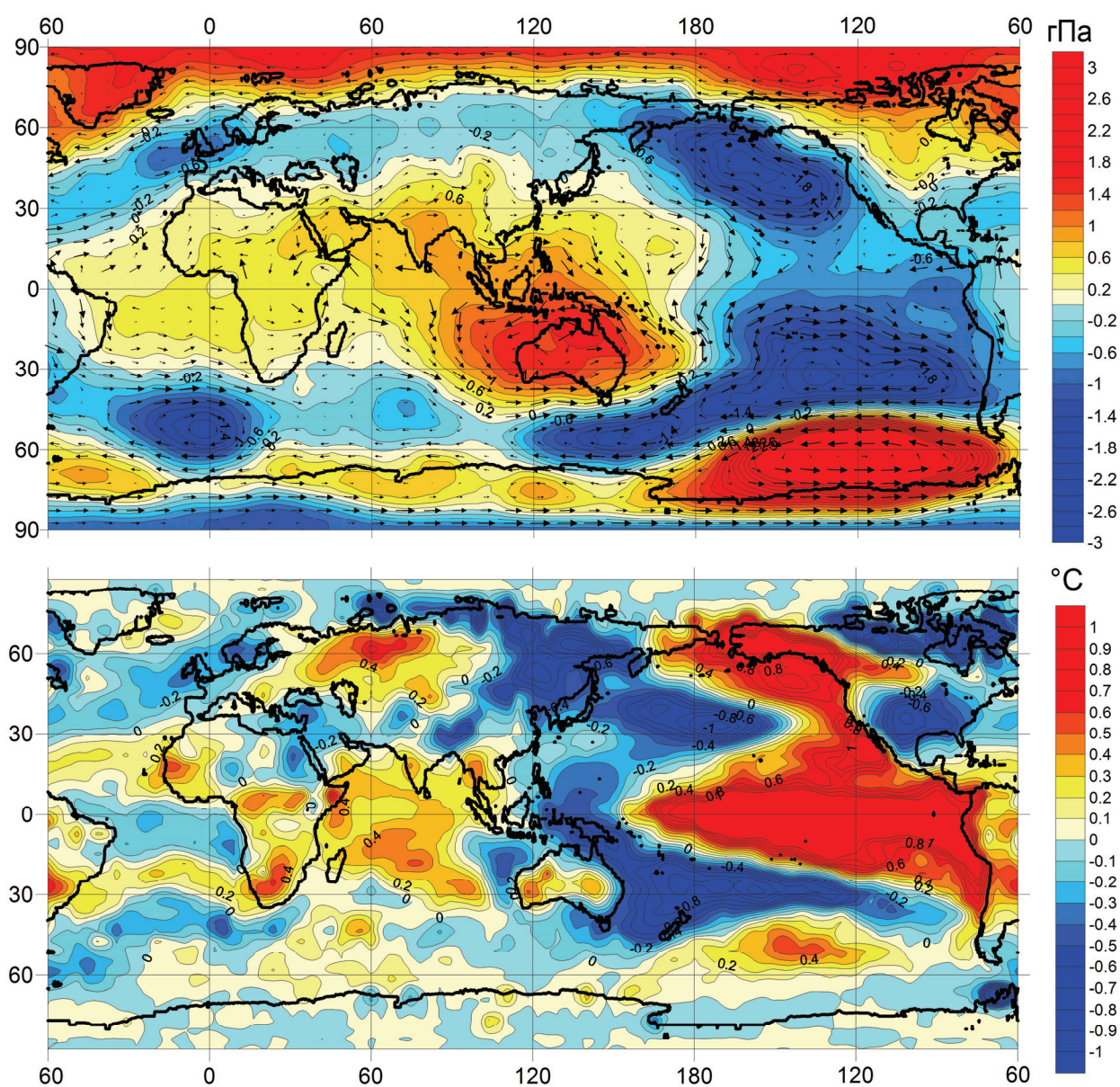


Рис. 1. Термобарическая структура межгодовой ГАО в период 1950–1999 гг. Деформационные поля атмосферного давления (верху) на уровне моря (соответствующее поле геострофического ветра показано стрелками) и приповерхностной температуры (внизу)

При сравнении *рис. 1* и *рис. 2* обращают на себя внимание, как общность, так и принципиальные отличия структурных особенностей ГАО на разных временных масштабах. Видно, что в обоих случаях ГАО характеризуется положительной аномалией атмосферного давления в экваториально-тропической области с эпицентром в Индийском океане. Однако на междекадном масштабе она менее интенсивна, но захватывает больший по широте пояс. Кроме того, если на межгодовом временном масштабе отмеченная выше положительная аномалия вдоль всей своей внешней границы соседствует с зоной пониженного атмосферного давления, а в более высоких широтах обоих полушарий наблюдаются пояса повышенного давления, то во втором случае пониженным атмосферным давлением характеризуется вся область за пределами центральной положительной аномалии.

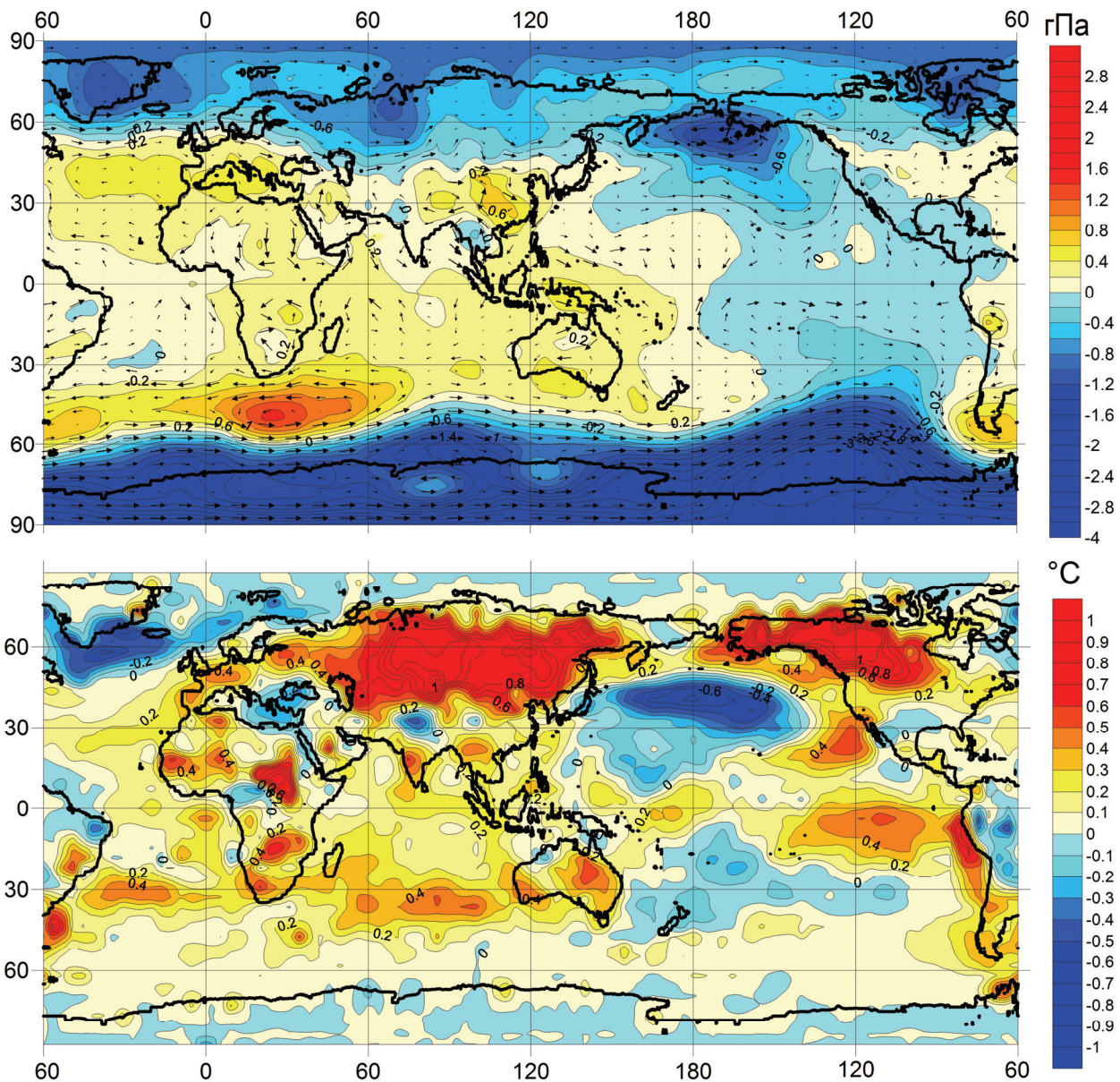


Рис. 2. Глобальная атмосферная осцилляция на междекадном временном масштабе: в полях аномалий атмосферного давления на уровне моря (вверху) и приповерхностной температуры (внизу). Стрелками показаны аномалии геострофического ветра

Что касается особенностей соответствующих термических возмущений, то, как и следовало ожидать, наиболее существенная положительная аномалия температуры (рис. 1) возникает в восточной части тропической зоны Тихого океана под влиянием возбуждаемых ГАО событий Эль-Ниньо. Несколько меньшая по площади положительная аномалия отмечается в северной части Тихоокеанского региона, включая территорию Аляски и Чукотского п-ва. Обширная экстремальная отрицательная аномалия температуры охватывает умеренные широты тихоокеанского региона, северо-восточную Азию, южную и северо-восточную части Северо-Американского континента.

Основной характер пространственного распределения термических аномалий, возникающих под влиянием междекадной ГАО (рис. 2), определяется четырехядерной струк-

турой, представленной положительными аномалиями на северо-западе Северо-Американского и северо-востоке Евро-Азиатского континентов, а также отрицательными аномалиями в северных частях Тихого и Атлантического океанов. Есть основания полагать, что такая картина качественно отражает фазовое перераспределение тепла в системе океан-атмосфера-континенты, обусловленное междекадной ГАО.

Межгодовая ГАО, имеющая временной масштаб порядка года, связана, очевидно, с сезонным ходом атмосферных процессов, а ее возникновение приурочено, как правило, к периодам равновесного состояния климатической системы (Бышев и др., 2012). Это состояние возникает каждый раз, когда Солнце располагается над земным экватором (радиационное равновесие), а система глобальной муссонной циркуляции атмосферы переходит в неустойчивый межфазовый режим. Начальный импульс ГАО, как показано в работе (Бышев и др., 2011б), непосредственно связан с ростом атмосферного давления в экваториально-тропической области Атлантического и Индийского океанов (термический прилив), где в этот период наблюдались отрицательные аномалии ТПО.

Есть основание полагать, что междекадная ГАО (*рис. 2*) проявляется в виде фазового сдвига в динамике системы взаимодействия океан-атмосфера-материки, который сопровождается сменой очередного климатического сценария. Как показали наши оценки (Анисимов и др., 2012), этот процесс напрямую связан с интенсификацией теплоотдачи Мирового океана в атмосферу, что сопровождается глобальным потеплением на суше, либо с накоплением тепла океаном и соответствующим усилением континентальности климата. Исходя из вышеизложенного, мы предлагаем ввести в научный обиход понятие о междекадной ГАО, как ингибиторе глобальной фазовой климатической изменчивости, обнаруживаемой в виде последовательной сменяемости климатических ситуаций, или сценариев климата (Бышев и др., 2011).

Климатическая роль каждой из двух мод ГАО определяется в соответствии с их конкретным временным масштабом. В этой связи уместно обратить внимание на нетривиальный вывод (Бышев и др., 2012) о том, что высокочастотная (межгодовая) мода ГАО играет роль спускового механизма для тихоокеанских событий ЭНЮК. Выполненная в рамках настоящей работы независимая проверка этого принципиального результата полностью подтвердила его достоверность. В этом нетрудно убедиться на примере генерируемого ГАО поля аномалий приповерхностной температуры (*рис. 1*), в котором в явном виде присутствует эффект Эль-Ниньо а также при сопоставлении временных функций индексов ГАО и ESOI (*рис. 3*), которые в общих чертах проявляют подобие. Заметим, что Экваториальный индекс Южного колебания (ESOI) был рассчитан как разность атмосферного давления между районами (30°ю.ш.-30°с.ш., 80°-160°в.д.) и (30°ю.ш.-30°с.ш., 160°-80°з.д.).

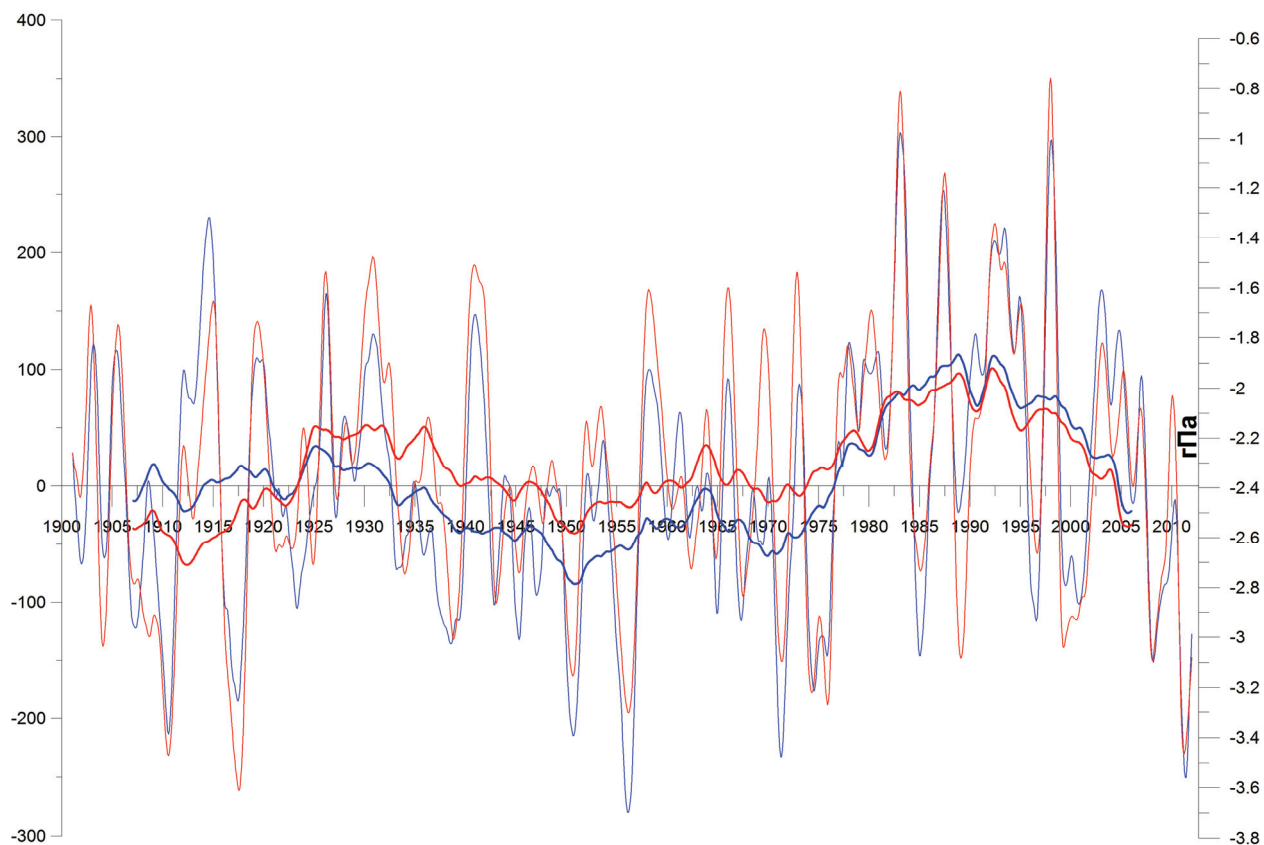


Рис. 3. Временной ход индекса ГАО (синяя кривая – левая шкала) и индекса ESOI (красная кривая). Тонкие линии – результат годового сглаживания, жирные кривые – результат скользящего 7- летнего сглаживания

Рассмотрение структуры барических аномалий, формирующихся под воздействием глобальных атмосферных осцилляций, естественно, приводит к вопросу о динамике этого процесса, конкретные сведения о которой позволили бы более определенно описать картину зарождения, фазовой эволюции и коллапса ГАО. Но пока это в основном остается за кадром, можно лишь обратить внимание на то, что показанное на *рис. 2* поле аномалий давления, соответствующее структуре междекадной ГАО, по-видимому, довольно устойчиво, поскольку, судя по всему, рассчитанная нами его деформационная структура сохраняется в течение нескольких десятилетий. Что касается межгодовой ГАО, то основные элементы ее динамики в первом приближении можно рассматривать во временной привязке к фазовой изменчивости процесса ЭНЮК, для которого эта осцилляция, как уже говорилось, в определенном смысле играет роль спускового механизма.

По аналогии с многообразными региональными осцилляциями, которые идентифицируются с помощью их общепринятых индексов, для ГАО можно предложить соответствующий индекс, оценивающий характерную деформацию планетарного поля атмосферно-

го давления в экваториально-тропической области (30°ю.ш.-30°с.ш., 60°з.д-180°) по формуле:

$$I_1(t) \sim P'(z_0, t) = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \delta P^*(\varphi, \lambda, z_0, t) d\varphi d\lambda. \quad (3)$$

Короткопериодная изменчивость временного хода рассчитанного по этой формуле индекса ГАО (рис. 3) связывается нами с эволюцией глобальных атмосферных осцилляций на межгодовом временном масштабе. Наличие нелинейных трендов этой функции в течение нескольких десятилетий указывает на эволюцию глобальной атмосферной осцилляции на междекадном временном масштабе, в частности, в начале XX столетия и в середине 70-х годов.

В конце отметим, что деформация глобального поля атмосферного давления и соответствующая ей перестройка атмосферной циркуляции под влиянием ГАО естественно сопровождаются возмущением основных характеристик океана и атмосферы (ТПО, уровень океана, облачность и другие), наблюдения которых целесообразнее всего производить, используя современные спутниковые технологии.

Заключение

Применение нетривиальных приемов анализа данных наблюдений за характеристиками природной среды позволило выявить и дать концептуальное описание разномасштабных глобальных атмосферных осцилляций, признаки которых в неявной форме неоднократно обнаруживались в целом ряде предшествующих исследований. Принципиальным результатом настоящей работы является вывод о том, что межгодовые и междекадные глобальные атмосферные осцилляции (ГАО) являются основным фактором, определяющим короткопериодную изменчивость современного климата. Показано, что межгодовая (внутридекадная) ГАО, помимо всего прочего, играет роль спускового механизма в процессе эволюции событий Эль-Ниньо, упреждая их возникновение генерацией аномальных термобарических и ветровых условий в регионе Индопацифики. Кардинальное значение междекадной ГАО заключается в том, что это возмущение в динамике взаимодействия системы океана, атмосферы и континентов приводит не только к смене региональных климатических сценариев, но, по всей вероятности, и к определенной фазовой изменчивости глобального климата в целом. Высказана уверенность, что спутниковые технологии представят хорошую возможность для получения новых современных данных о разномасштабных ГАО и их физической природе.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (грант № МК-3841.2014.5).

Литература

1. *Анисимов М.В., Бышев В.И., Залесный В.Б., Мошонкин С.Н., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В.* О междекадной изменчивости климатических характеристик океана и атмосферы в регионе Северной Атлантики // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9. № 2. С. 304–311.
2. *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*. 2011б. Т. 8, № 4. С. 200–208.
3. *Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В.* О пространственной неоднородности некоторых параметров глобальной изменчивости современного климата // *Доклады РАН*. 2009. Т. 426. № 4. С. 543–548.
4. *Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В.* О фазовой изменчивости некоторых характеристик современного климата в регионе Северной Атлантики // *Доклады РАН*. 2011а. Т. 438. № 6. С. 817–822.
5. *Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В.* Эль-Ниньо как следствие глобальной атмосферной осцилляции в динамике климатической системы Земли // *Доклады РАН*. 2012. Т. 446. № 1. С. 89–94.
6. *Изменения климата*. Под ред. Дж. Гриббина. 1980. 360 с.
7. *Кондратьев К.Я.* Глобальный климат. С-Пб.: Наука, 1992. 360 с.
8. *Петросянуц М.А., Семенов Е.К., Гуцина Д.Ю., Соколичина Е.В., Соколичина Н.Н.* Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость. М.: Макс Пресс, 2005. 640 с.
9. *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. Vol. 19. P. 5816–5846.
10. *Bronnimman S., Sticher A., Griesser T., Fischer A.M., Grant A., Ewen T., Zhou T., Schraner M., Rozanov E., Peter T.* Variability of large-scale atmospheric circulation indices for the Northern hemisphere during the past 100 years // *Meteorol. Zeitschr.* 2009. Vol. 18. No. 4. P. 379–396.
11. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press for the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. 996 p. [Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.)].
12. *Huybers P., Curry W.* Links between annual, Milankovitch and Continuum temperature variability // *Nature*. 2006. Vol. 441. 18 May. P. 329–332.
13. *Jones P.D., D.H. Lister, T.J. Osborn, C. Harpham, M. Salmon, C.P. Morice* (2012) Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010 // *J. Geophys. Res.* Vol. 117. P. D05127. Doi:10.1029/2011JD017139.

Global atmospheric oscillations in dynamics of the recent climate

V.I. Byshev, V.G. Neiman, Ju.A. Romanov, I.V. Serykh

P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences

E-mail: vneiman20007@yandex.ru

The work confirmed, improved and extended the earlier hypothesis of the existence of inter-secular oscillations of the of modern climate system thermodynamic characteristics. Using a composite analysis of observational data on planetary fields of hydro-meteorological parameters of ocean and atmosphere the quasi-cyclic oscillations have been detected in recent climate dynamics with periods of 3–4 years and 20–30 years. These fluctuations were found to appear in the most explicit form in terms of large-scale redistribution of atmospheric mass, accompanied by a significant enhancement of positive atmospheric pressure anomaly in the equatorial-tropical zone of the Earth and the formation of other major anomalies of different signs in different areas. The results obtained suggest that the known

multimode regional fluctuations in dynamics of the climate system (North Atlantic, North Pacific, Southern and other so called fluctuations) are derived of the forenamed global atmospheric oscillations (GAO), whose time scales range from several years to decades. It was found that multi-decade GAO is followed by the phase transitions in the course of the recent climate change. On the background of identified evolution of thermodynamic index of large-scale processes in the climate system of the North Atlantic region the temporal characteristics of individual quasi-deterministic scenarios of the recent global climate were defined. Analytical detection of intra-decadal GAO gave an opportunity to formulate a new concept of physical trigger mechanism of the Pacific El Niño. On the basis of empirical data it was shown at the first time in the history of this process consideration that the well-known climatic events within the El Niño - Southern Oscillation are far beyond the regional scale of the Pacific basin, but should be seen as a structural part of the global atmospheric oscillations.

Keywords: atmosphere, ocean, oscillation, climate, climate system, El Niño.

References

1. Anisimov M.V., Byshev V.I., Zalesny V.B., Moshonkin S.N., Neiman V.G., Romanov Ju.A., Serykh I.V., O mezhdekadnoj izmenchivosti klimaticeskikh harakteristik okeana i atmosfery v regione Severnoj Atlantiki (On inter-decadal variability of ocean and atmosphere characteristics in the Northern Atlantic), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 304–311.
2. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Ju.A., Serykh I.V., O global'nom haraktere javlenija El-Nino v klimaticeskoj sisteme Zemli (On global scale of El Niño events within the Earth climatic system), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2011b, Vol. 8, No. 4, pp. 200–208.
3. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Ju.A., Serykh I.V., O prostranstvennoj neodnorodnosti nekotoryh parametrov global'noj izmenchivosti sovremennogo klimata (On spatial nonuniformity of some parameters of the modern climate), *Doklady RAN*, 2009, Vol. 426, No. 4, pp. 543–548.
4. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Ju.A., Serykh I.V., O fazovoj izmenchivosti nekotoryh harakteristik sovremennogo klimata v regione Severnoj Atlantiki (On phase change of some characteristics of the modern climate in the North Atlantic region), *Doklady RAN*, 2011a, Vol. 438, No. 6, pp. 817–822.
5. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Ju.A., Serykh I.V., El-Nino kak sledstvie global'noj atmosfernoj oscilljicii v dinamike klimaticeskoj sistemy Zemli (El Niño as sequence of the global atmospheric oscillation in the Earth climate system dynamics), *Doklady RAN*, 2012, Vol. 446, No. 1, pp. 89–94.
6. Gribbin D., *Izmenenija klimata* (Climate change), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980, 360 p.
7. Kondrat'ev K.Ja., *Global'ny klimat* (Global climate), Saint-Petersburg: Nauka, 1992, 360 p.
8. Petrosjants M.A., Semenov E.K., Gushchina D.Ju., *Cirkuljacija atmosfery v tropikah: klimat i izmenchivost'* (Atmospheric circulation in tropics: climate and its variability), Moscow: Maks Press, 2005, 640 p.
9. 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, Vol. 19, pp. 5816–5846.
10. Bronnimman S., Sticher A., Griesser T., Fischer A.M., Grant A., Ewen T., Zhou T. Schraner M., Rozanov E., Peter T., Variability of large-scale atmospheric circulation indices for the Northern hemisphere during the past 100 years, *Meteorol. Zeitschr.*, 2009, Vol. 18, No. 4, pp. 379–396.
11. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press for the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, 996 p.
12. Huybers P., Curry W., Links between annual, Milankovitch and Continuum temperature variability, *Nature*, 2006, Vol. 441, 18 May, pp. 329–332.
13. Jones P.D., D.H. Lister, T.J. Osborn, C. Harpham, M. Salmon, C.P. Morice (2012), Hemispheric and large-scale land surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010, *J. Geophys. Res.*, Vol. 117, p. D05127. Doi:10.1029/2011JD017139.