
**ВЛИЯНИЕ ЭЛЬ-НИНЬО НА ПАРАМЕТРЫ СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ
НАД ВОСТОЧНОЙ СИБИРЬЮ
ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД****INFLUENCE OF EL NIÑO ON PARAMETERS
OF THE MIDDLE AND UPPER ATMOSPHERE OVER EASTERN SIBERIA
ACCORDING TO REANALYSIS AND MODEL DATA IN WINTER****А.Н. Вяткин***Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, aptemzm1997@gmail.com***О.С. Зоркальцева***Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, meteorologist-ka@yandex.ru***В.И. Мордвинов***Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, v_mordv@iszf.irk.ru***A.N. Vyatkin***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, aptemzm1997@gmail.com***O.S. Zorkaltseva***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, meteorologist-ka@yandex.ru***V.I. Mordvinov***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, v_mordv@iszf.irk.ru*

Аннотация. Одним из наиболее важных климатообразующих явлений в системе океан—атмосфера является Эль-Ниньо Южное Колебание (ЭНЮК), проявляющееся с разной интенсивностью практически во всех регионах земного шара. Центральные районы Евразии наиболее удалены от тропиков Тихого океана — областей зарождения ЭНЮК. Существуют разные точки зрения относительно характера влияния ЭНЮК на эти регионы. В работе по модельным расчетам и данным реанализа оценивается влияние ЭНЮК на верхнюю атмосферу Северного полушария и, в частности, на верхнюю атмосферу Восточной Сибири. Результаты анализа показали, что крупномасштабные структуры отклика атмосферы на ЭНЮК в Северном полушарии по данным моделирования и реанализа схожи, однако районы Восточной Сибири находятся на периферии основного сигнала, где наблюдаются значительные различия в оценках эффектов Эль-Ниньо и Ла-Нинья от одного случая к другому. В январе наибольшее влияние ЭНЮК оказывает на среднюю атмосферу полярных регионов Северного полушария. Над Евразией и Восточной Сибирью отклик атмосферы на ЭНЮК оказался слабым или отсутствовал.

Ключевые слова: Эль-Ниньо Южное Колебание, мезосфера — нижняя термосфера, планетарные волны, МСВА.

Abstract. One of the most important climate-forming phenomena in the ocean—atmosphere system is the El Niño Southern Oscillation (ENSO) events, which manifest themselves with varying intensity in almost all regions of the globe. The central regions of Eurasia are farthest from the tropics of the Pacific Ocean, the regions where ENSO originates. There are different points of view regarding the nature of the ENSO effect on these regions. In the presented work, the influence of ENSO on the upper atmosphere of the Northern Hemisphere and, in particular, on the upper atmosphere of Eastern Siberia is estimated using model calculations and reanalysis data. The results of the analysis show that the large-scale structures of the atmospheric response to the ENSO events in the Northern Hemisphere are similar according to modeling and reanalysis, yet the regions of Eastern Siberia are on the periphery of the main signal and there are significant differences in estimated effects from one case of El Niño and La Niña to another. In January, ENSO has the greatest impact on the middle atmosphere of the polar regions of the Northern Hemisphere. Over Eurasia and Eastern Siberia, the atmospheric response to the ENSO events turned out to be weak or absent.

Keywords: El Niño Southern Oscillation, mesosphere — lower thermosphere, planetary waves, MUAM.

ВВЕДЕНИЕ

Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК) представляет собой процесс взаимодействия океана и атмосферы в экваториальной части Тихого океана. События Эль-Ниньо характеризуются повышением температуры поверхности воды в центральной части Тихого океана, большим количеством облаков над центральной и восточной частями Тихого океана и аномалиями циркуляции Уокера [Wang et al., 2021]. Наибольшее воздействие ЭНЮК оказывает на тропосферу низких

широт, однако его влиянию подвержена циркуляция атмосферы практически на всем земном шаре и на всех уровнях атмосферы. Фаза Эль-Ниньо, например, приводит к охлаждению экваториальной стратосферы и уменьшению температурного градиента между атмосферой низких широт и полярным вихрем, ослабляя последний. В среднем, полярный стратосферный вихрь в годы Эль-Ниньо слабее, чем в годы Ла-Нинья [Lu et al., 2011]. Это означает, что в среднем зимняя стратосфера в высоких широтах

теплее в годы Эль-Ниньо, однако мезосфера холоднее, что подтверждается спутниковыми данными и модельными экспериментами [Garcia-Herrera et al., 2006; Lu et al., 2011; Li et al., 2013]. Считается, что Эль-Ниньо приводит к повышенной вероятности возникновения внезапных стратосферных потеплений (ВСП) [Taguchi, Hartmann, 2006; Domeisen et al., 2019]. Есть свидетельства того, что Эль-Ниньо проявляется и на верхних уровнях атмосферы. Например, в работах [Jacobi, Kürschner, 2002; Jacobi et al., 2017] обнаружена корреляция между индексом ЭНЮК (Niño3) и зональным ветром на высоте 90 км над Германией. Сравнение временных рядов индекса ЭНЮК и ветра в мезосфере — нижней термосфере (МНТ) показало, что в январе–феврале зональные ветры коррелируют с ЭНЮК, причем с задержкой около одного месяца. Наибольшие корреляции отмечались на высотах ~90 км и ослабевали с уменьшением высоты.

Важным фактором, определяющим зависимость состояния верхней атмосферы от Эль-Ниньо является, вероятно, волновая активность в атмосфере. Как показано в [Ermakova et al., 2022] для Эль-Ниньо разных типов характерны разные уровни волновой активности, вариации температуры полярной стратосферы и скорости зонального ветра, которые, в свою очередь, могут влиять на сроки разрушения полярного вихря и начало весенней перестройки в стратосфере. Это предположение не противоречит классическим представлениям, согласно которым изменения атмосферных параметров в верхней тропосфере, вызванные ЭНЮК, воздействуют на структуру и ширину стратосферного волновода, влияющего на вертикальное распространение волн планетарного масштаба из тропосферы, что приводит к изменчивости стратосферных динамических процессов во внетропической области [Richter et al., 2011; Lubis et al., 2016].

Предпосылкой настоящего исследования послужили работы [Михалев, 2012, 2017], в которых обсуждалось нарушение корреляционной зависимости параметров верхней атмосферы от солнечной активности в 18–23 солнечных циклах (в том числе над обсерваторией Торы (52° N, 103° E)). Ослабление прямой корреляционной зависимости произошло в годы сильных Ла-Нинья и минимальной солнечной активности [Mikhalev et al., 2008]. Авторы пришли к выводу, что вариации параметров верхней атмосферы могут являться также следствием вариаций солнечной активности и колебаний в системе океан—атмосфера. В представленной работе проведено исследование влияния ЭНЮК на вариации скорости зонального ветра, температуры и геопотенциала во время Эль-Ниньо и Ла-Нинья по данным реанализа ERA-5 и модели средней и верхней атмосферы до высот 100 км.

1. ДАННЫЕ

Для моделирования зимней циркуляции атмосферы была использована модель средней и верхней атмосферы (МСВА). МСВА представляет собой трехмерную нелинейную модель общей циркуляции атмосферы, реализованную на сетке 5.625° по долготе, 5° по широте [Pogoreltsev et al., 2007]. В качестве вертикальной координаты используется лог-изоба-

рическая высота $z = -H \ln(p/1000)$, где p — давление в гПа, $H=7$ км. В МСВА последней версии включены параметризации эффектов орографических гравитационных волн [Гаврилов, Коваль, 2013]. Кроме того, использовались климатические распределения озона и паров воды в тропосфере, учитывающие долготные вариации [Суворова, Погорельцев, 2011]. Для задания условий ЭНЮК в МСВА использовались данные MERRA по конвективным осадкам. Расчет скоростей нагрева проводился с помощью эмпирической формулы, предложенной в [Hong, Wang, 1980]. На основе многомерного индекса ЭНЮК (MEI) были выбраны годы положительной и отрицательной фаз ЭНЮК, для которых были построены композиты температуры скрытого тепла и нижние граничные условия для январских месяцев этих лет. Распределение скоростей нагрева аппроксимировалось набором зональных гармоник с волновыми числами $m=1 \div 4$ [Ermakova et al., 2019]. Мы использовали ансамблевые расчеты 10 модельных реализаций для положительной фазы ЭНЮК и 10 реализаций для отрицательной фазы.

Модельные расчеты для январских условий в атмосфере сопоставлялись с данными реанализа ERA-5 [Hersbach et al., 2020]. Для оценки пространственной структуры отклика атмосферы на ЭНЮК были построены распределения разностей параметров (скорость зонального ветра, температура воздуха, геопотенциальная высота между фазами Эль-Ниньо и Ла-Нинья). В таблице приведены годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья, использованные для расчетов. Следует заметить, что использование разностей, а не самих значений параметров, позволяет учесть одновременно эффекты и Эль-Ниньо, и Ла-Нинья, однако может искажать пространственную структуру откликов атмосферы и по данным модельных расчетов, и по данным климатических архивов. Отклик атмосферы на Ла-Нинья похож на отклик Эль-Ниньо с противоположным знаком, но все же не зеркален как из-за различий пространственной структуры аномалий температуры на нижней границе атмосферы, так и вследствие различий свойств тропосферы и средней атмосферы [Sobaeva et al., 2023]. Приведенные ниже рисунки подтверждают эту точку зрения. Кроме того, расчеты показывают, что разности имеют более сложную пространственную структуру, чем аномалии температуры отдельно во время Эль-Ниньо и Ла-Нинья, что усложняет сопоставление данных реанализа и модельных расчетов. Для оценки статистической значимости разностей были выполнены расчеты достоверности стандартным способом в предположении нормального характера распределений амплитуды сигнала (t -test Стьюдента) и нанесены в виде изолиний на построенные распределения разностей параметров.

Выше было отмечено, что высотные уровни в МСВА представлены в лог-изобарической системе координат в метрах. В качестве вертикальной координаты в данных ERA-5 используется давление в гектопаскалях. Для анализа и сравнения данных модели и реанализа были выбраны уровни 15, 30 и 55 км по МСВА и 100, 10 и 1 гПа по ERA-5. Для удобства дальше высоты будут обозначаться в километрах.

Явления Эль-Ниньо/Ла-Ниньо в 1982–2022 гг. [<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/sst>]. Данные усреднялись с 1 по 31 января за годы, приведенные во второй строке отдельно для событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

		1982–2002 гг.																			
Эль-Ниньо	+2.2 °C					+1.7 °C					+1.6 °C					+2.4 °C					
	82 83					87 88					91 92 93 94 95					98					
Ла-Нинья	-1.1 °C	84 85 86						-1.9 °C	89 90						-1.0 °C	96 97					-1.7 °C

		2003–2022 гг.																						
Эль-Ниньо	+1.2 °C	03 04 05						+1.6 °C	10						+2.6 °C	15 16					0.8 °C	19 20		
Ла-Нинья								-1.6 °C													-0.9 °C			-1.3 °C

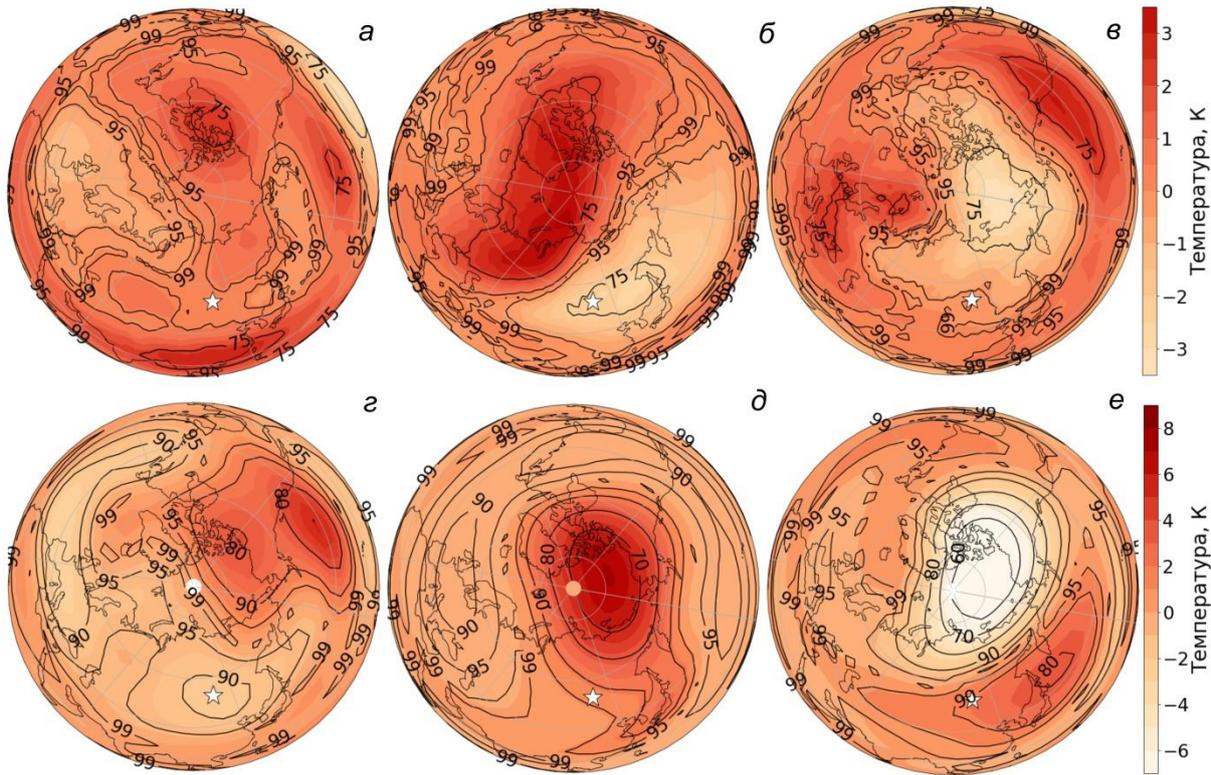


Рис. 1. Пространственное распределение ΔT по данным ERA5 (а– в) и МСВА (г– е) на уровнях 15, 30, 55 км соответственно (заливка); распределение статистической значимости ΔT по t-критерию Стьюдента (изолинии). Звездочкой на панелях обозначено положение Иркутска

1.1. Температура

Для оценки влияния ЭНЮК на температуру средней атмосферы были построены пространственные распределения разностей температур воздуха между фазами Эль-Ниньо и Ла-Нинья ($\Delta T = \overline{T_{El}} - \overline{T_{La}}$) (рис. 1) по данным реанализа (а–в) и модели (г–е). Видно, что максимальные ΔT на высоте ~15 км наблюдаются над тропической областью Тихого океана, тропиками Азии и Африки и в районе северного побережья Северной Америки. Отметим, что на высотах нижней стратосферы пространственные структуры ΔT по данным реанализа (± 4 К) и модели (от -5 до +7 К) схожи, но величина ΔT по данным модели на несколько градусов выше. В модели не воспроизводятся разности температур в тропиках Азии

и Африки. Причина, скорее всего, в неточном задании граничных условий Эль-Ниньо и Ла-Нинья в модели. На высоте 30 км видны различия пространственных распределений ΔT , однако максимальный сигнал от ЭНЮК наблюдается в районе Северного полюса по данным и модели, и ре-анализа. В верхней стратосфере на высоте 55 км над Европой и Атлантикой наблюдаются положительные ΔT , над севером Канады и восточной частью Северного Ледовитого океана — отрицательные. По данным ERA-5 видна область положительных ΔT над Тихим океаном, которая не воспроизводится МСВА. Таким образом, данные модели и реанализа в общих чертах, по крайней мере, в средних и высоких широтах, согласуются и показывают, что во время Эль-Ниньо область полярного вихря более теплая, чем при Ла-Нинья в нижней

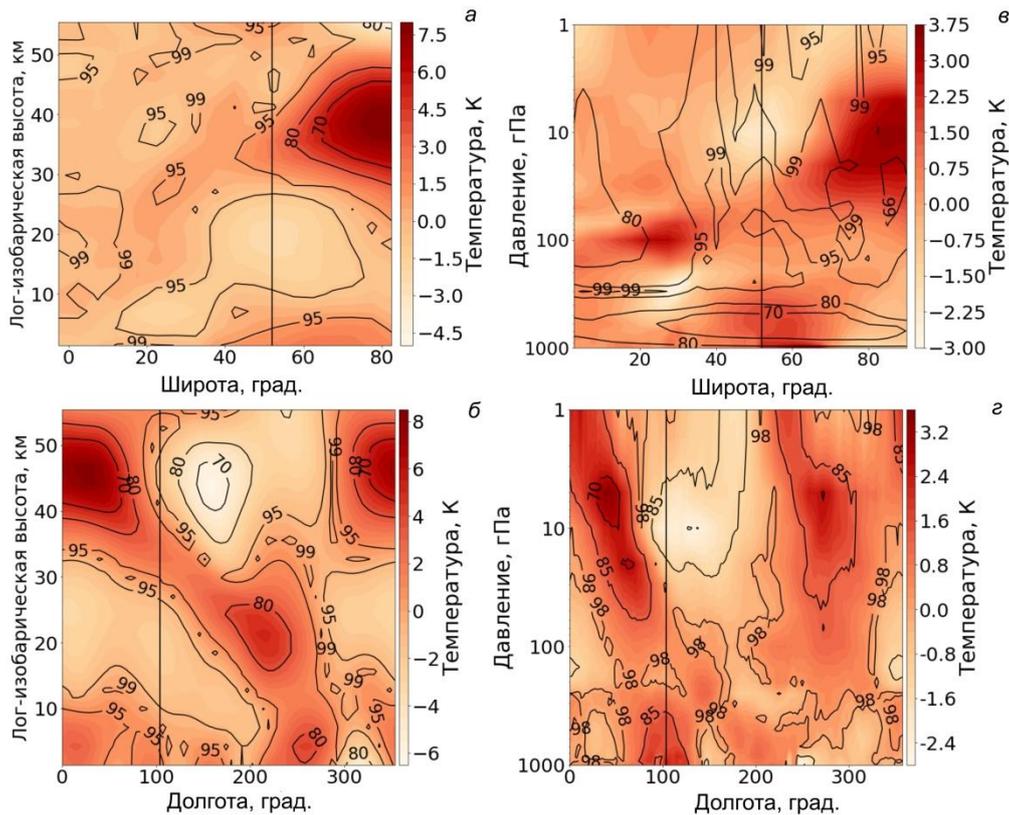


Рис. 2. Вертикальное распределение ΔT от поверхности до 55 км по данным MCSA (а, б) и ERA-5 (в, г). Вверху — распределение значений ΔT вдоль 104° E, внизу — вдоль 52.5° N (заливка); распределение статистической значимости ΔT по t-критерию Стьюдента (изолинии)

и средней стратосфере. В верхней стратосфере, наоборот, — в высоких широтах температура ниже во время Эль-Ниньо. В низких широтах согласие между данными наблюдений и результатами расчетов хуже, что, скорее всего, обусловлено некоторой неадекватностью задания граничных условий и особенностью методики анализа — использованием разности температур Эль-Ниньо — Ла-Нинья вместо аномалий температур в каждом отдельном случае.

Для более подробного анализа влияния ЭНЮК на атмосферу Восточной Сибири были построены высотные разрезы разности температур (рис. 2) вдоль широты 52.5° N (а, в) и долготы 104° E (б, г). Видно, что наибольшие ΔT наблюдаются на высотах от 25 до 45 км над Атлантикой и Северной Америкой севернее 60° N. Выше ~50 км происходит смена знака ΔT . Районы Восточной Сибири находятся вблизи границы положительных и отрицательных ΔT . Видимо, пограничное положение региона и является основной причиной различий в оценках характера влияния ЭНЮК на внутриконтинентальные районы Евразии. В средней стратосфере (см. рис. 1, б и 2, г) над районами Сибири и Дальнего Востока видна область отрицательных ΔT , которую не воспроизводит модель, что, скорее всего, является следствием аномалий ΔT в верхней низкоширотной тропосфере (см. рис. 2, г), которые также отсутствуют в данных модели.

То, что интересующий нас район находится вблизи границы положительных и отрицательных значений разностей средних температур во время

Эль-Ниньо и Ла-Нинья, вероятно, определяет и невысокую достоверность рассчитанных разностей, так как относительно небольшое пространственное смещение реакции атмосферы на ЭНЮК может привести к существенным аномалиям или смене знака разностей. Этот фактор дополняет другие достаточно очевидные причины существенных различий в реакции средних температур и других атмосферных параметров на изменения индексов ЭНЮК. Во-первых, это может быть связано с различиями в пространственной структуре температуры поверхности океана (ТПО) и соответственно в пространственной структуре отклика атмосферы во время отдельных событий ЭНЮК. Во-вторых, ВСП оказывают существенное влияние на средние зональные характеристики атмосферы. Все ВСП различаются по времени начала, длительности, типам. Суммарный эффект ВСП может приводить к значительному разбросу средних январских параметров атмосферы. Перечисленные факторы относятся в большей степени к данным реанализа. В модельных расчетах мы можем контролировать часть внешних факторов, однако даже в модели атмосфера остается неустойчивой средой и в ней могут возникать и распространяться длинные волны с неконтролируемой фазой, а также развиваться ВСП в произвольные моменты времени.

1.2. Зональная компонента скорости ветра

Пространственные распределения разностей зональной компоненты скорости ветра ΔU во время

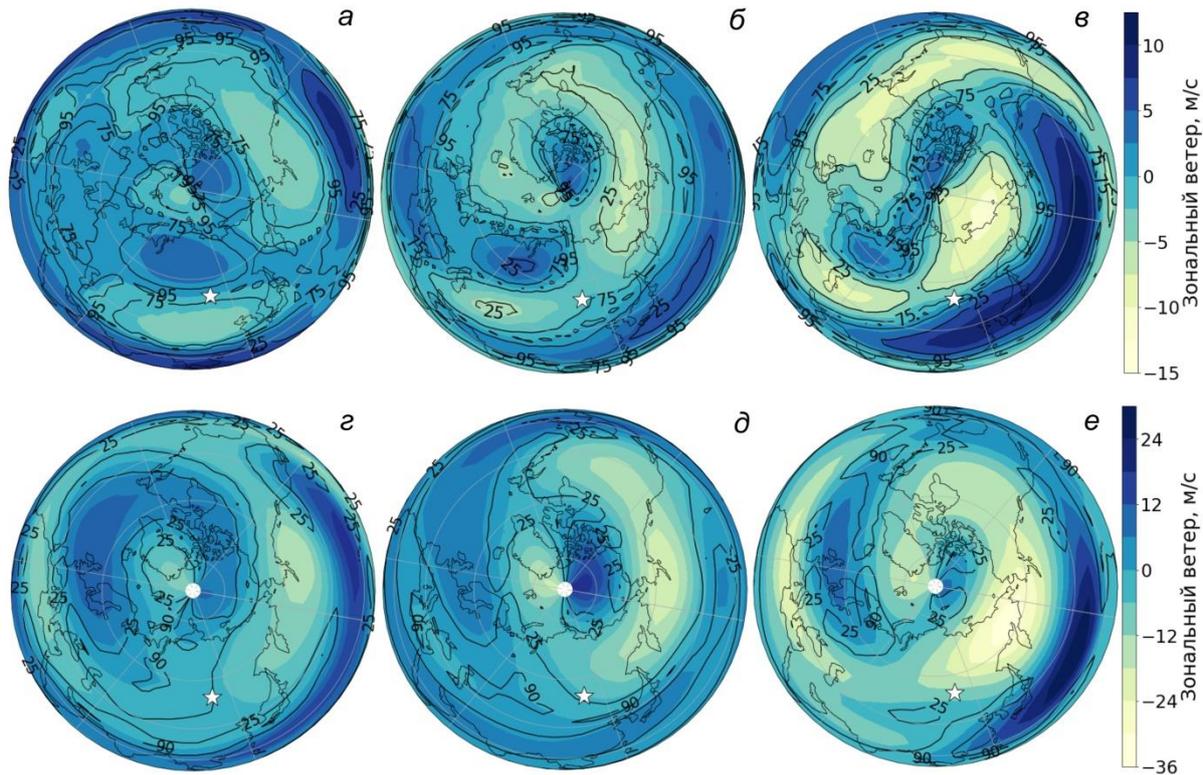


Рис. 3. Пространственное распределение аномалий зонального ветра ΔU по данным ERA5 (а–в) и MCSBA (г–е) на уровнях 15, 30, 55 км соответственно (заливка); распределение статистической значимости ΔU по t-критерию Стьюдента (изолинии). Звездочкой на панелях обозначено положение Иркутска

Эль-Ниньо и Ла-Нинья показаны на рис. 3. Видно, что на всех высотах пространственные структуры ΔU по данным MCSBA и ERA-5 в общих чертах согласуются, однако данные модели завышают величину ΔU примерно в два раза. На всех высотах прослеживается квазиволновая структура ΔU над Тихим океаном: в низких широтах — положительные ΔU , в средних — отрицательные, а севернее 80°N — снова положительные. Это подтверждает выводы других авторов о волновом механизме переноса энергии во время Эль-Ниньо. Однако рисунки показывают достаточно много различий, особенно в низких широтах, возможные причины которых мы уже обсуждали выше.

Если рассматривать ΔU в вертикальном сечении (рис. 4), видна знакопеременная структура в низких широтах по данным ERA-5, которая в данных модели воспроизводится не так четко (панели а, б). Кроме того, знакопеременные аномалии ΔU над Тихим океаном на высотах 30 и 55 км по данным MCSBA (см. рис. 3, д, е) оказываются более протяженными в широтном направлении, чем по данным реанализа, и достигают Восточной Сибири, вследствие чего на вертикальных профилях (см. рис. 4, в, г) видны различия между данными ERA-5 и MCSBA. По данным MCSBA прослеживается значительное уменьшение скорости зонального потока в средних широтах атмосферы во время Эль-Ниньо, по данным ERA-5 уменьшение скорости выражено слабее. Несмотря на региональные различия ΔU , общие картины сигнала от ЭНЮК по данным модели и реанализа хорошо согласуются.

Так же, как на предыдущих рисунках с ΔT (рис. 1, 2), на карты распределений разности скоростей нанесены значимости рассчитанных разностей. В целом ситуация с разбросом разностей как по данным реанализа, так и по результатам расчетов оказывается примерно такой же, как для среднезональной температуры, или даже хуже, так как поле разностей скорости более изменчиво в пространстве, чем поля разности температур и разности высот геопотенциала (следующий раздел). Поэтому различия в пространственной структуре отклика от одного события к другому в зональной скорости должны проявляться сильнее, чем в других параметрах.

1.3. Геопотенциальная высота

Распределение разностей высот геопотенциала ΔP во время Эль-Ниньо и Ла-Нинья (рис. 5), показывает, что максимальный отклик наблюдается в верхней стратосфере высоких широт. Положительные аномалии ΔP указывают на то, что стратосферный полярный вихрь в годы Эль-Ниньо слабее, чем в годы Ла-Нинья, что согласуется с результатами [Garfinkel, Hartmann, 2008]. Однако в нижней и средней стратосфере пространственная картина ΔP по данным ERA-5 более сложная — здесь наблюдаются два центра положительных и отрицательных ΔP . Один из положительных центров расположен над Сибирью. Эти различия прослеживаются и на вертикальных разрезах вдоль широты Иркутска (рис. 6, а, в). В верхней стратосфере по данным MCSBA, и ERA-5 влияние ЭНЮК на Восточную Сибирь незначительно.

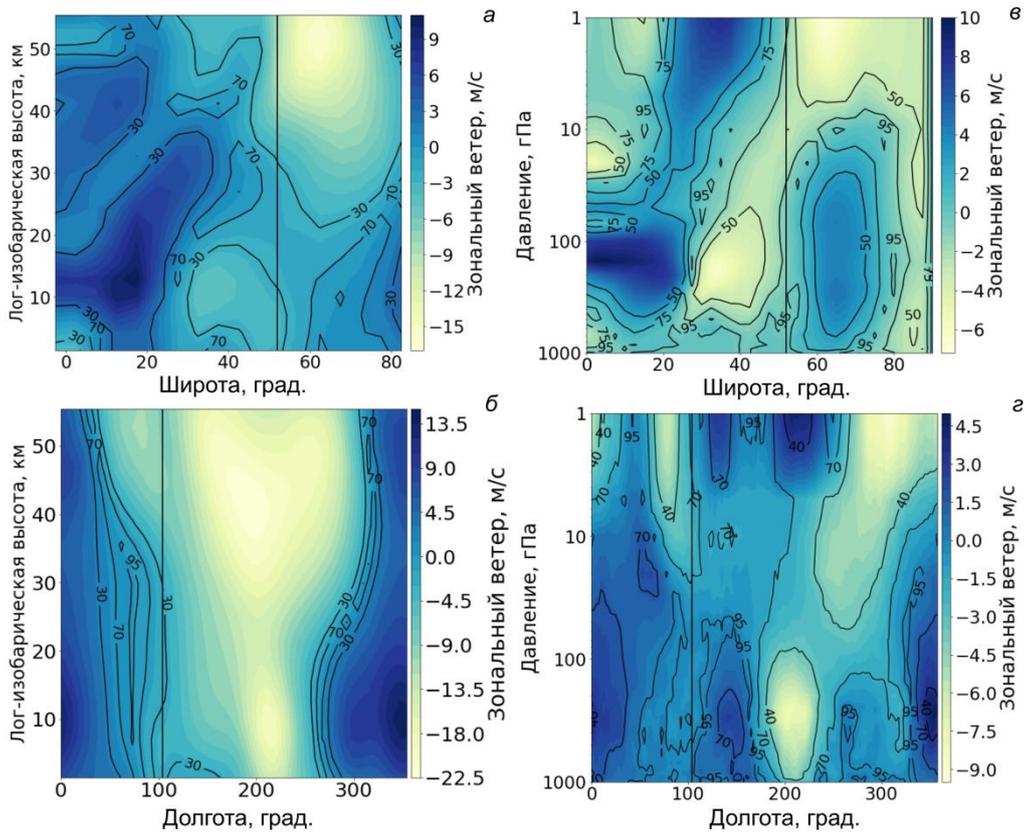


Рис. 4. Вертикальное распределение ΔU от поверхности до 55 км по данным MCSA (а, б) и ERA-5 (в, г). Вверху — распределение ΔU вдоль 104° E, внизу — вдоль 52.5° N (заливка); распределение статистической значимости ΔU по t-критерию Стьюдента (изолинии)

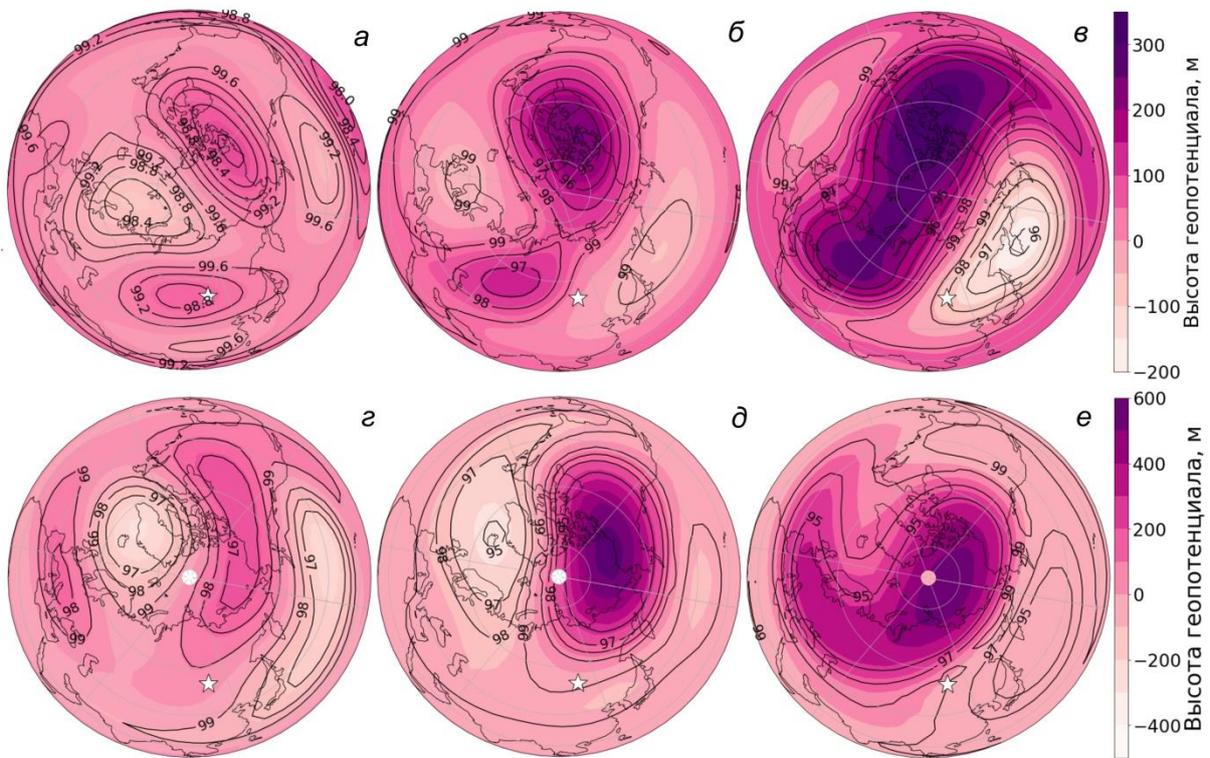


Рис. 5. Пространственное распределение аномалий геопотенциальных высот ΔP по данным ERA-5 (а–в) и MCSA (г–е) на уровнях 15, 30, 55 км соответственно (заливка); распределение статистической значимости ΔP по t-критерию Стьюдента (изолинии). Звездочкой на панелях обозначено положение Иркутска

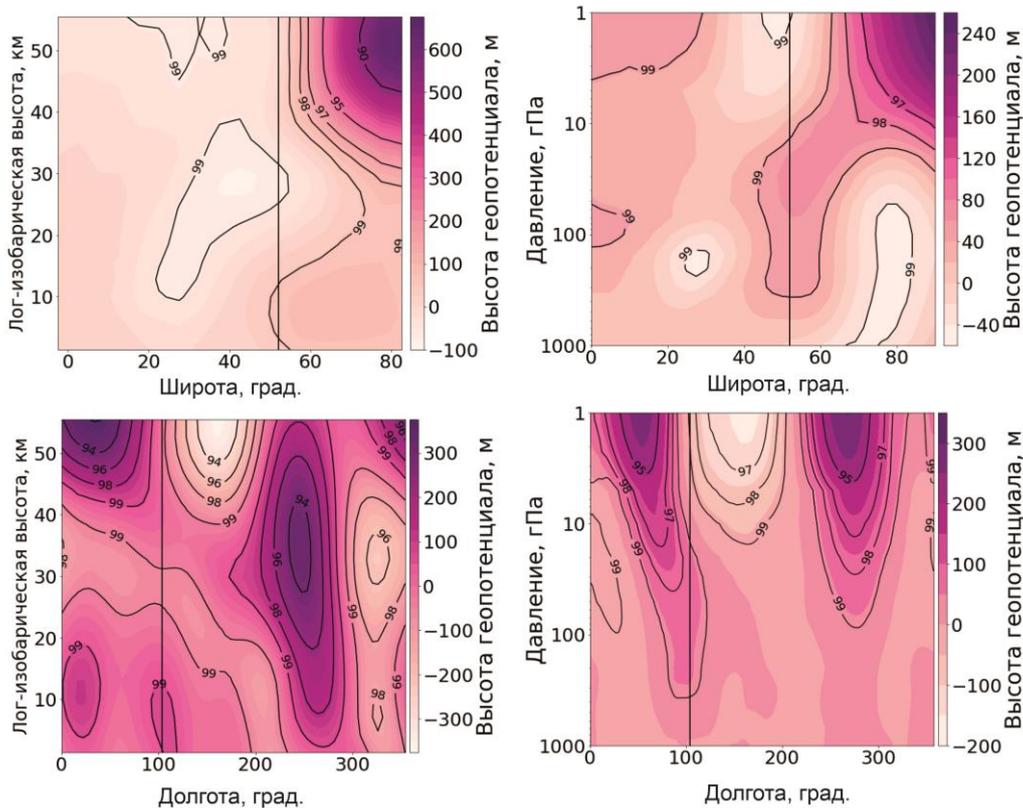


Рис. 6. Вертикальное распределение ΔP от поверхности до 55 км по данным MCSA (а, б) и ERA-5 (в, з). Вверху — распределение значений ΔP вдоль 104°E , внизу — вдоль 52.5°N (заливка); распределение статистической значимости ΔP по t-критерию Стьюдента (изолинии)

Значимости разностей изменяются в довольно широких пределах, но в целом оказываются достаточно высокими. Обращает на себя внимание совпадение районов с низким уровнем значимости с районами высоких значений разностей геопотенциальных высот. Это указывает на то, что разброс величин между событиями больше характерен для областей с наибольшей реакцией на явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Пространственная структура реакции атмосферы на явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья и границы знакопеременных областей меняются в меньшей степени, чем амплитуда сигнала.

2. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ ΔT , ΔU , ΔP ДО 100 КМ НАД ВОСТОЧНОЙ СИБИРЬЮ

Анализ пространственной картины отклика метеопараметров на ЭНЮК в целом показал неплохое соответствие данных MCSA и реанализа ERA-5. Однако центральные части Евразии и Восточная Сибирь находятся на периферии сигнала от ЭНЮК, поэтому относительно небольшие вариации в структуре явления могут приводить к различиям по характеру вариациям в верхних слоях атмосферы даже при одинаковых по значению индексах ЭНЮК, а также к различиям в результатах моделирования и данных наблюдений. Для иллюстрации этого вывода на рис. 7, 8 построены вертикальные профили ΔT , ΔU , ΔP над точками с координатами $52.5^\circ\text{--}57.5^\circ \text{N}$, $100^\circ\text{--}110^\circ \text{E}$ (Восточная Сибирь) (см. рис. 7) и $80^\circ\text{--}85^\circ \text{N}$, $90^\circ\text{--}95^\circ \text{W}$ (Канадский архипелаг) (см. рис. 8). Вторая

точка выбрана в районе сильного отклика метеопараметров верхней атмосферы на явление ЭНЮК. Хорошо видны значительные различия в структуре отклика по результатам моделирования и данным наблюдений над Восточной Сибирью вплоть до изменений знака отклика, а также хорошее соответствие между данными наблюдений и результатами расчетов над Канадским архипелагом. Это подтверждает наше предположение. Отметим также, что значения среднеквадратических отклонений (СКО) оказались в среднем в два раза выше в Восточной Сибири, чем над Канадским архипелагом по данным и модели, и реанализа. Это указывает на то, что над Восточной Сибирью отклик атмосферы на ЭНЮК сильно варьирует от события к событию, поэтому применять для его оценки статистические методы следует с осторожностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на большое количество исследований явления Эль-Ниньо Южное Колебание, особенно в тропосфере, оставалось много неясного в поведении параметров верхних слоев атмосферы. Наиболее сложными для интерпретации были вариации атмосферных параметров над центральными районами Евразии, удаленными от места зарождения ЭНЮК. В проведенном нами исследовании мы сопоставили данные реанализа с результатами расчетов специализированной MCSA, ориентированной на воспроизведение динамики верхних слоев атмосферы. Результаты моделирования подтвердили выводы других

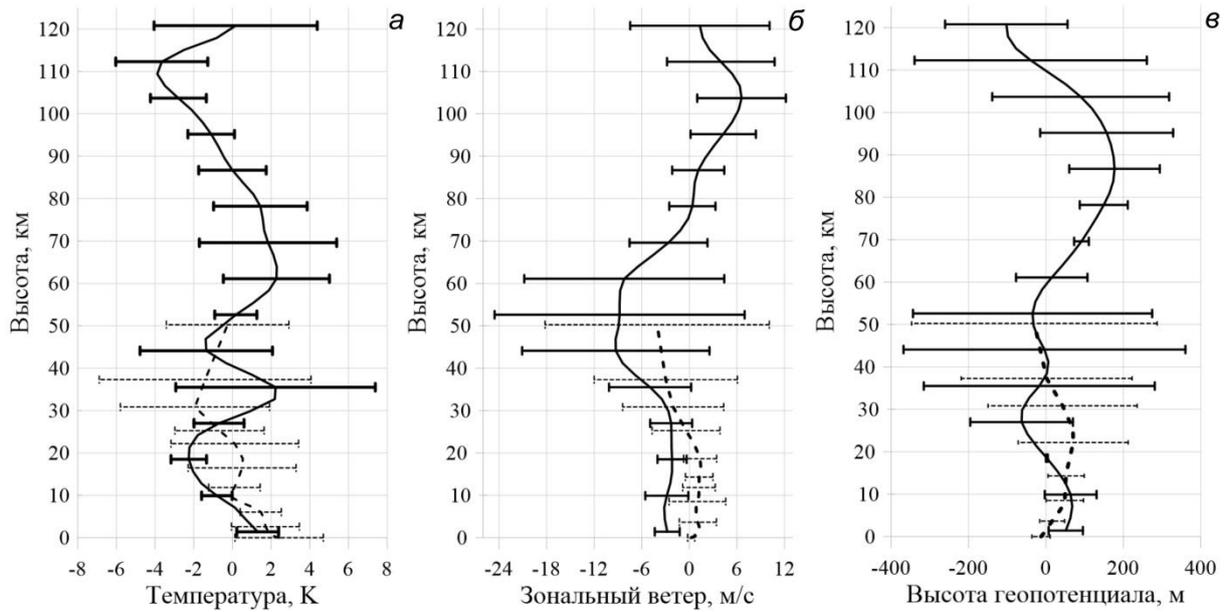


Рис. 7. Вертикальные профили и значения СКО для ΔT (а), ΔU (б), ΔP (в) по данным MCSA (сплошная линия) и ERA (пунктир) над Восточной Сибирью

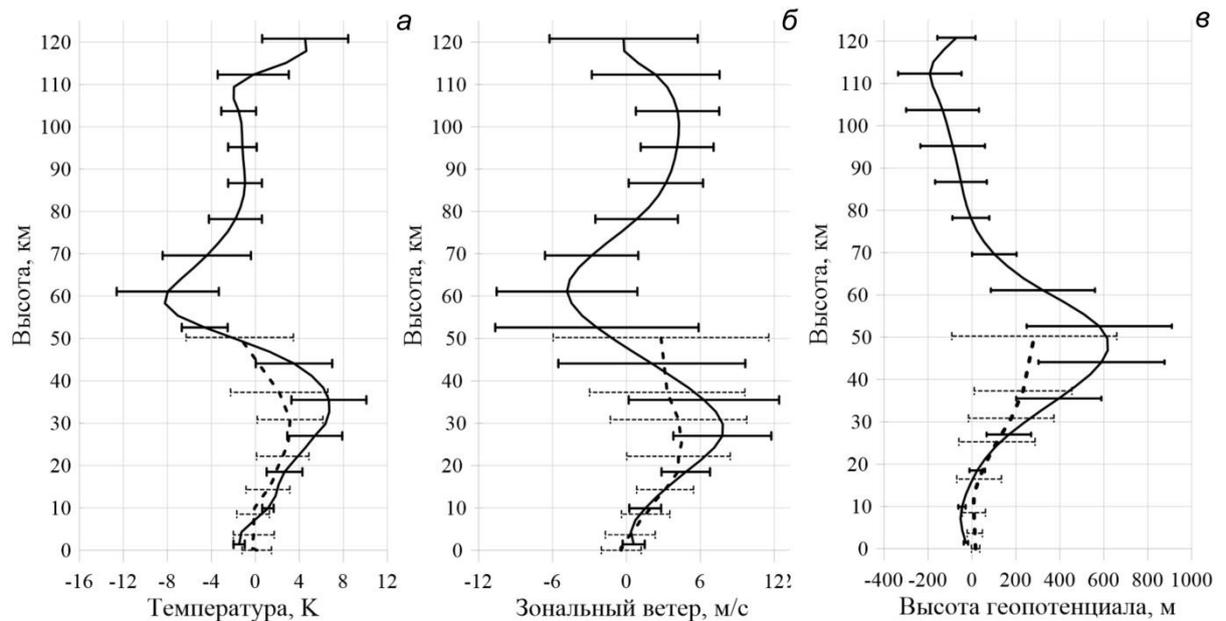


Рис. 8. Вертикальные профили и значения СКО для ΔT (а), ΔU (б), ΔP (в) по данным MCSA (сплошная линия) и ERA (пунктир) над территорией Канадского архипелага

исследований, указавших на глобальный характер отклика и сильное влияние ЭНЮК на высокоширотную полярную атмосферу. Максимальный отклик наблюдается в верхней стратосфере высоких широт. Положительные аномалии давления во время Эль-Ниньо свидетельствуют о том, что стратосферный полярный вихрь в годы Эль-Ниньо слабее, чем в годы Ла-Нинья по данным и модели, и реанализа. При этом пространственные структуры разностей температуры по данным реанализа и модели схожи, но величина ΔT по данным модели на несколько градусов выше. Однако максимальный сигнал от ЭНЮК наблюдается в районе Северного полюса по данным и модели, и реанализа. Таким образом, данные модели и реанализа, в общих чертах, по крайней мере,

в средних и высоких широтах, согласуются и показывают, что во время Эль-Ниньо область полярного вихря более теплая, чем при Ла-Нинья в нижней и средней стратосфере. В верхней стратосфере, наоборот, в высоких широтах температура ниже во время Эль-Ниньо. На всех высотах прослеживается квазипериодическая структура разностей скорости зональных ветров во время Эль-Ниньо и Ла-Нинья над Тихим океаном. Это подтверждает выводы других авторов о волновом механизме переноса энергии во время Эль-Ниньо. Внутриконтинентальные области по данным и модели, и реанализа попадают в пограничную область между сильной реакцией атмосферы в низких и высоких широтах на периферии основного сигнала ЭНЮК. В январе наибольшее влияние ЭНЮК

оказывает на среднюю атмосферу полярных регионов Северного полушария. Над Евразией и Восточной Сибирью отклик атмосферы на ЭНЮК оказывается слабым или отсутствует. Практически это приводит к сильным различиям в оценках эффекта от одного случая Эль-Ниньо или Ла-Нинья к другому и, вероятно, является причиной разных выводов о проявлении ЭНЮК во внутриконтинентальных районах.

Обработка и хранение данных осуществлялись при поддержке Минобрнауки России (субсидия № 075-ГЗ/Ц3569/278); анализ и интерпретация результатов выполнены при поддержке проекта РФФ № 22-7710008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гаврилов Н.М., Коваль А.В. Параметризация воздействия мезомасштабных стационарных орографических волн для использования в численных моделях динамики атмосферы. *Известия РАН, Физика атмосферы и океана*. 2013. Т. 49, № 3. С. 271–278.
- Михалев А.В. Особенности многолетних вариаций излучения верхней атмосферы земли в связи с колебаниями климатической системы атмосфера—океан. *Солнечно-земная физика*. 2012. Вып. 21. С. 62–66.
- Михалев А.В. Атмосферная эмиссия [O] 557.7 нм в периоды экстремальных событий Эль-Ниньо/Ла-Ниньо в 23-ем и 24-ем солнечных циклах. *Оптика атмосферы и океана*. 2017. Т. 30, № 11. С. 986–989. DOI: [10.15372/AOO20171112](https://doi.org/10.15372/AOO20171112).
- Суворова Е.В., Погорельцев А.И. Моделирование немигрирующих приливов в средней атмосфере. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2011. Т. 51, № 1. С. 107–118.
- Domeisen D.I., Garfinkel C.I., Butler A.H. The teleconnection of El Niño Southern Oscillation to the stratosphere. *Rev. Geophys.* 2019. Vol. 57. P. 5–47. DOI: [10.1029/2018RG000596](https://doi.org/10.1029/2018RG000596).
- Ermakova T.S., Aniskina O.G., Statnaia I.A., et al. Simulation of the ENSO influence on the extra-tropical middle atmosphere. *Earth, Planets and Space*. 2019. DOI: [10.1186/s40623-019-0987-9](https://doi.org/10.1186/s40623-019-0987-9).
- Ermakova T.S., Koval A.V., Smyshlyayev S.P., et al. Manifestations of Different El Niño Types in the Dynamics of the Extratropical Stratosphere. *Atmosphere*. 2022. Vol. 13, no. 12. DOI: [10.3390/atmos13122111](https://doi.org/10.3390/atmos13122111).
- Garcia-Herrera R., Calvo N., Garcia R.R., Giorgetta M.A. Propagation of ENSO temperature signals into the middle atmosphere: A comparison of two general circulation models and ERA-40 reanalysis data. *J. Geophys. Res.* 2006. Vol. 111, iss. D6. DOI: [10.1029/2005JD006061](https://doi.org/10.1029/2005JD006061).
- Garfinkel C.I., Hartmann D.L. Different ENSO teleconnections and their effects on the stratospheric polar vortex. *J. Geophys. Res.* 2008. Vol. 113, iss. D18. DOI: [10.1029/2008JD009920](https://doi.org/10.1029/2008JD009920).
- Hersbach H., Bell B., Berrisford P., et al. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly J. Royal Meteorological Society*. 2020. Vol. 146, no. 730. P. 1999–2049.
- Hong S-S., Wang P-H. On the thermal excitation of atmospheric tides. *Bull. Geophys.* 1980. Vol. 19. P. 56–84.
- Jacobi Ch., Kürschner D. A possible connection of midlatitude mesosphere/lower thermosphere zonal winds and the Southern Oscillation. *Phys. Chem. Earth*. 2002. Vol. 27. P. 571–577. DOI: [10.1016/S1474-7065\(02\)00039-6](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(02)00039-6).
- Jacobi Ch., Ermakova T., Mewes D., Pogoreltsev A.I. El Niño influence on the mesosphere/lower thermosphere circulation at midlatitudes as seen by a VHF meteor radar at Collm (51.3° N, 13° E). *Adv. Radio Sci.* 2017. Vol. 15. P. 199–206. DOI: [10.5194/ars-15-199-2017](https://doi.org/10.5194/ars-15-199-2017).
- Li T., Calvo N., Yue J., et al. Influence of El Niño–Southern Oscillation in the mesosphere. *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40. P. 3292–3296. DOI: [10.1002/grl.50598](https://doi.org/10.1002/grl.50598).
- Lu C., Liu Y., Liu C. Middle atmosphere response to ENSO events in Northern Hemisphere winter by the Whole Atmosphere Community Climate Model. *Atmosphere-Ocean*. 2011. Vol. 49, iss. 2. P. 95–111. DOI: [10.1080/07055900.2011.576451](https://doi.org/10.1080/07055900.2011.576451).
- Lubis S.W., Matthes K., Omrani N.-E., et al. Influence of the Quasi-Biennial Oscillation and Sea Surface Temperature Variability on Downward Wave Coupling in the Northern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.* 2016. Vol. 73. P. 1943–1965. DOI: [10.1175/JAS-D-15-0072.1](https://doi.org/10.1175/JAS-D-15-0072.1).
- Mikhalev A.V., Stoeva P., Medvedeva I.V., et al. Behavior of the atomic oxygen 557.7 nm atmospheric emission in the solar cycle 23. *Adv. Space Res.* 2008. Vol. 41, iss. 4. P. 655–659. DOI: [10.1016/j.asr.2007.07.017](https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.07.017).
- Pogoreltsev A.I., Vlasov A.A., Frühlich K., Jacobi Ch. Planetary waves in coupling the lower and upper atmosphere. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2007. Vol. 69. P. 2083–2101.
- Richter J.H., Matthes K., Calvo N., Gray L.J. Influence of the quasi-biennial oscillation and El Niño–Southern Oscillation on the frequency of sudden stratospheric warmings. *J. Geophys. Res.* 2011. Vol. 116. D20111. DOI: [10.1029/2011JD015757](https://doi.org/10.1029/2011JD015757).
- Sobaeva D., Zyulyaeva Y., Gulev S. ENSO and PDO Effect on Stratospheric Dynamics in Isca Numerical Experiments. *Atmosphere*. 2023. Vol. 14, iss. 3. P. 459. DOI: [10.3390/atmos14030459](https://doi.org/10.3390/atmos14030459).
- Taguchi M., Hartmann D.L. Increased occurrence of stratospheric sudden warmings during El-Niño as simulated by WACCM. *Journal of Climate*. 2006. Vol. 19, iss. 3. P. 324–332. DOI: [10.1175/jcli3655.1](https://doi.org/10.1175/jcli3655.1).
- Wang X.Y., Zhu J., Chang C.H., et al. Underestimated responses of Walker circulation to ENSO-related SST anomaly in atmospheric and coupled models. *Geophys. Lett.* 2021. Vol. 8, no. 17. DOI: [10.1186/s40562-021-00186-8](https://doi.org/10.1186/s40562-021-00186-8).
- URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/sst> (дата обращения 30 января 2023 г.).
- Как цитировать эту статью:*
Вяткин А.Н., Зоркальцева О.С., Мордвинов В.И. Влияние Эль-Ниньо на параметры средней и верхней атмосферы над Восточной Сибирью по данным реанализа и моделирования в зимний период. *Солнечно-земная физика*. 2024. Т. 10, № 1. С. 44–52. DOI: [10.12737/szf-101202406](https://doi.org/10.12737/szf-101202406).