

Влияние изменений солнечной активности на Эль-Ниньо - Южное колебание и Антарктическое колебание как элементов Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО)

Серых Илья Викторович^{1,2}, Сонечкин Дмитрий Михайлович¹

¹ *Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН, Москва*

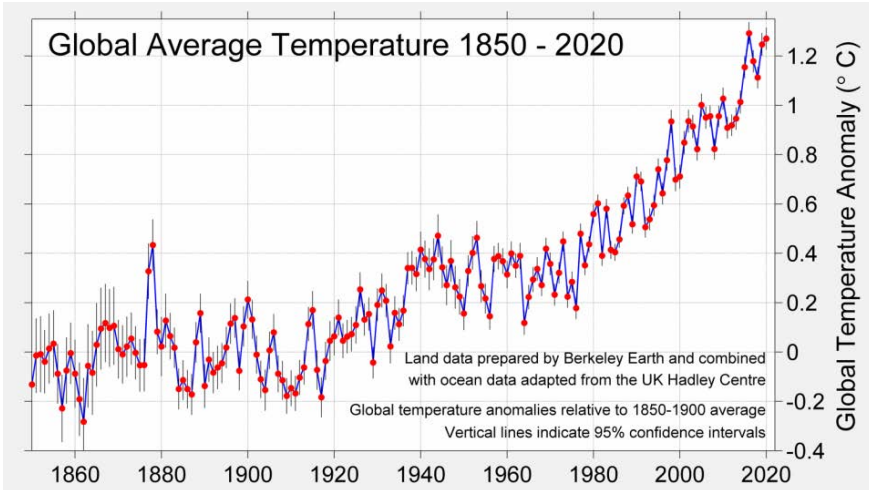
² *Геофизический центр РАН, Москва*



iserykh@ocean.ru

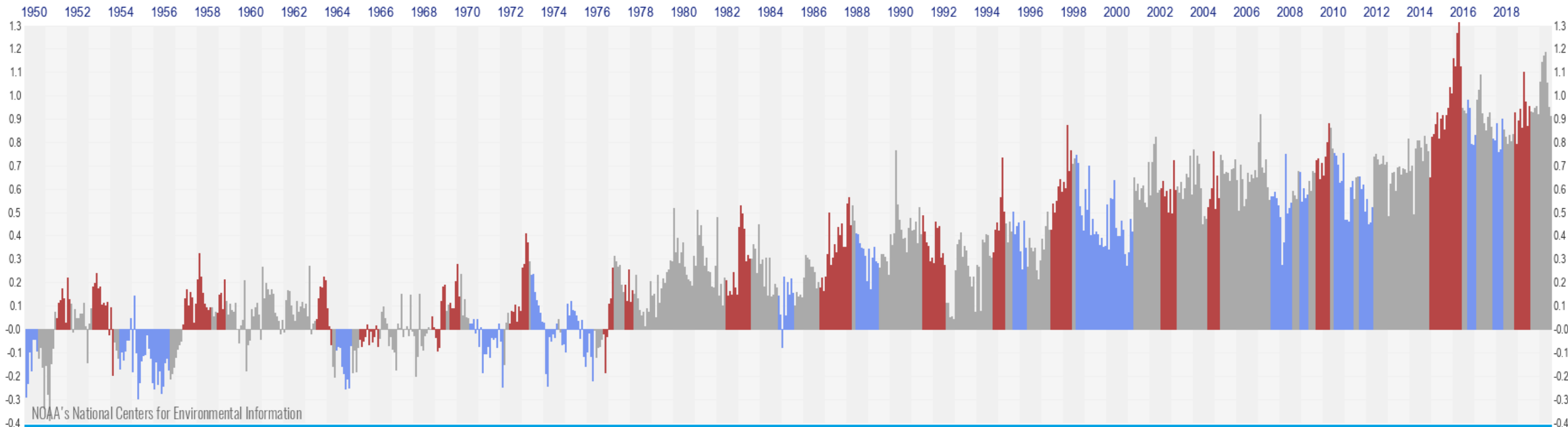
МОСКВА 2022

Влияние Эль-Ниньо и Ла-Нинья на межгодовую изменчивость глобального климата



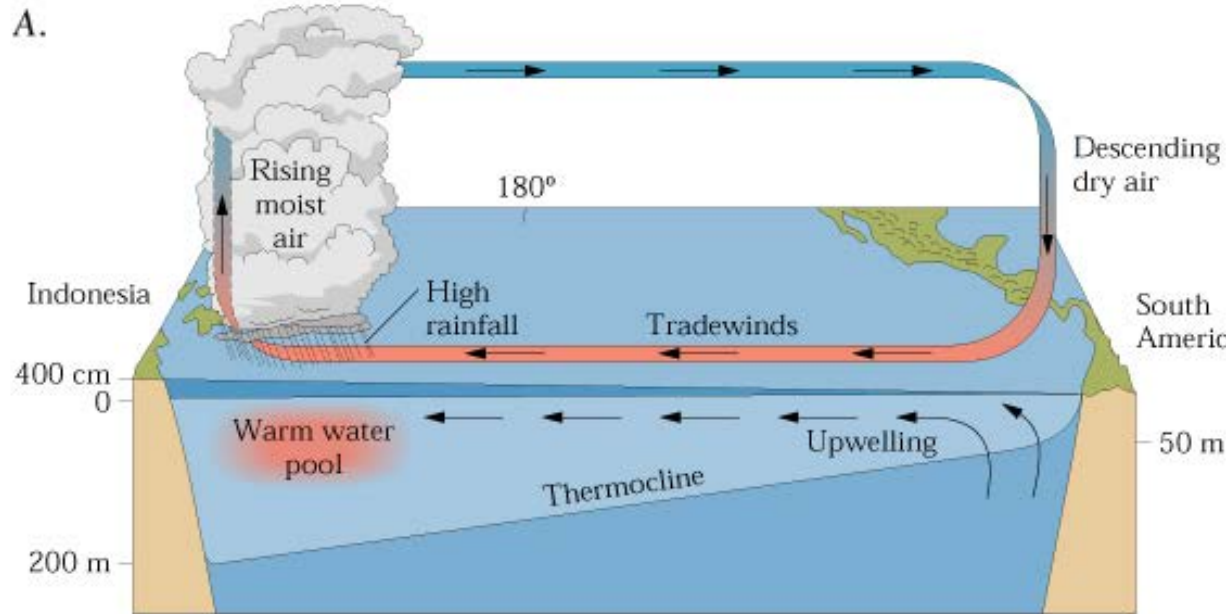
С практической точки зрения в проблеме современного изменения климата наиболее важной целью является понимание того, как будет эволюционировать климат в течение ближайших нескольких десятилетий.

Для поиска решения этой проблемы важно решить задачу разделения процессов различных масштабов в системе океан – атмосфера путем анализа главной глобальной моды климатической изменчивости в диапазоне межгодовых периодов, которой является Эль-Ниньо – Южное колебание.



Эль-Ниньо – Южное колебание

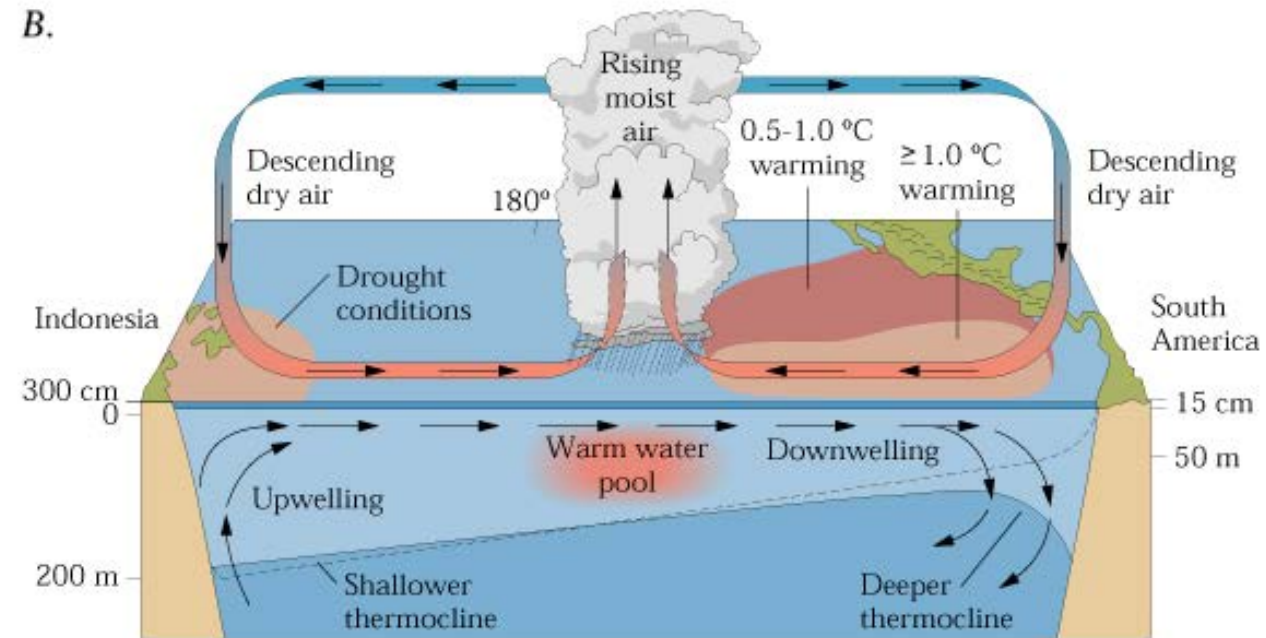
Нейтральное состояние



“Normal” conditions in the tropical Pacific

При нейтральном состоянии тропиков Тихого океана пассатные ветры смещают теплую воду к берегам Индонезийского архипелага, где образуется зона конвекции, в которой влажный воздух поднимается в верхние слои тропосферы. При этом в данном регионе наблюдается повышение уровня океана и заглубление термоклина.

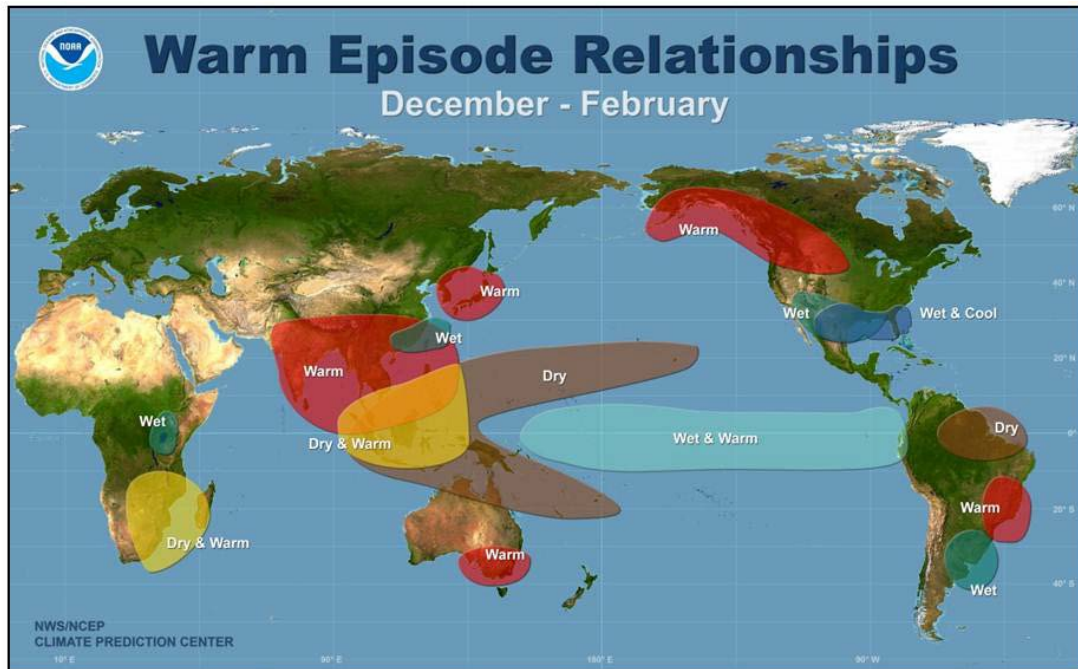
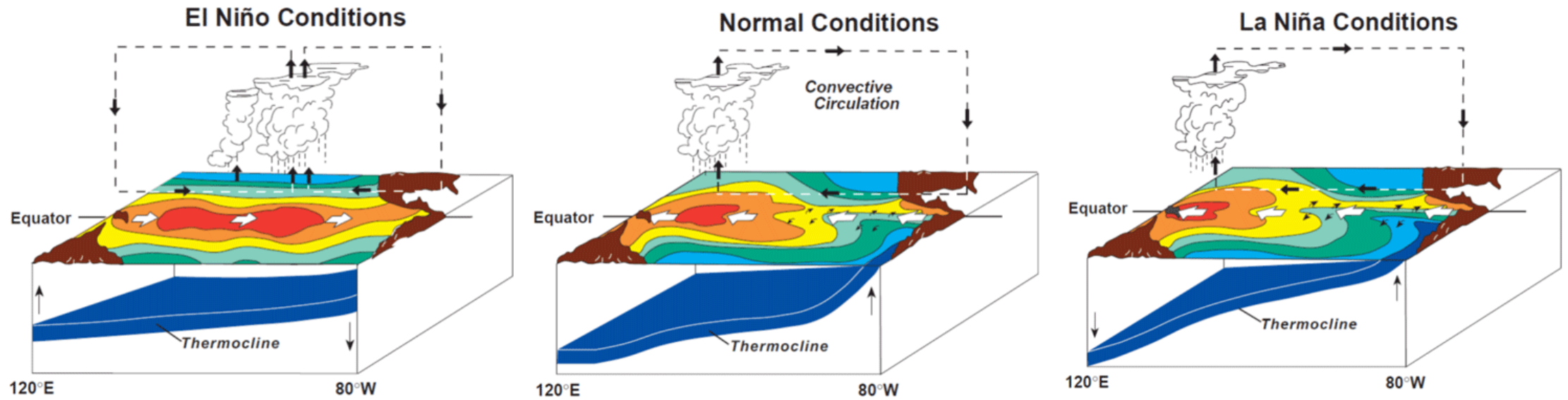
Эль-Ниньо



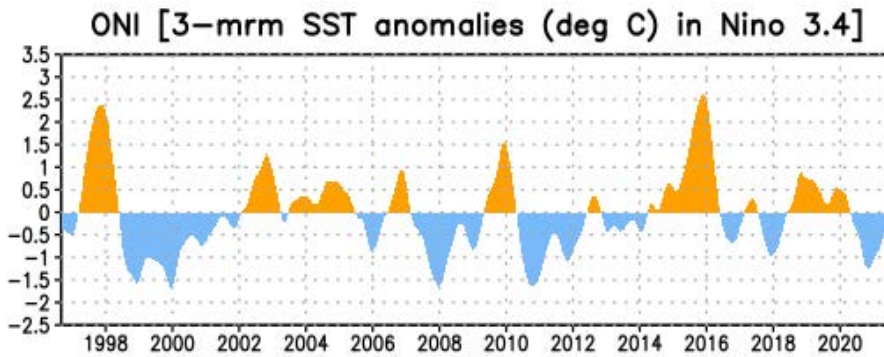
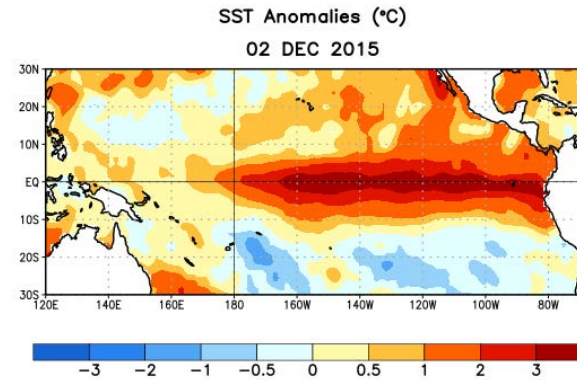
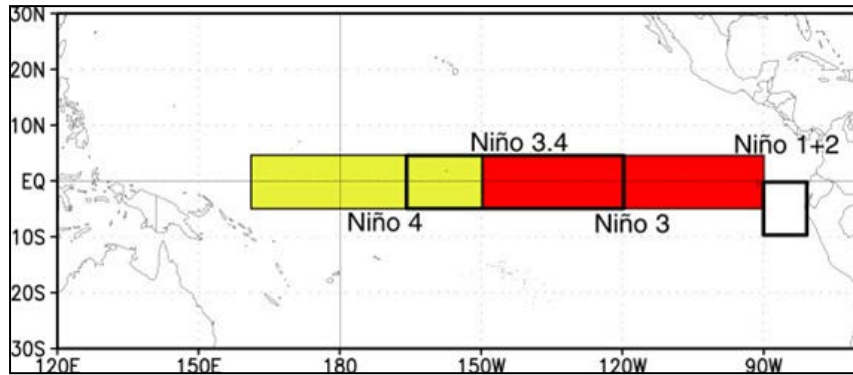
El Niño conditions in the tropical Pacific

При Эль-Ниньо пассатные ветры ослабевают, теплая вода и зона конвекции смещаются в центр Тихого океана, что приводит к изменению циркуляции атмосферы. В западной части происходит поднятие термоклина и уменьшение уровня океана, а у берегов Южной Америки наблюдается ослабление апвеллинга и заглубление термоклина.

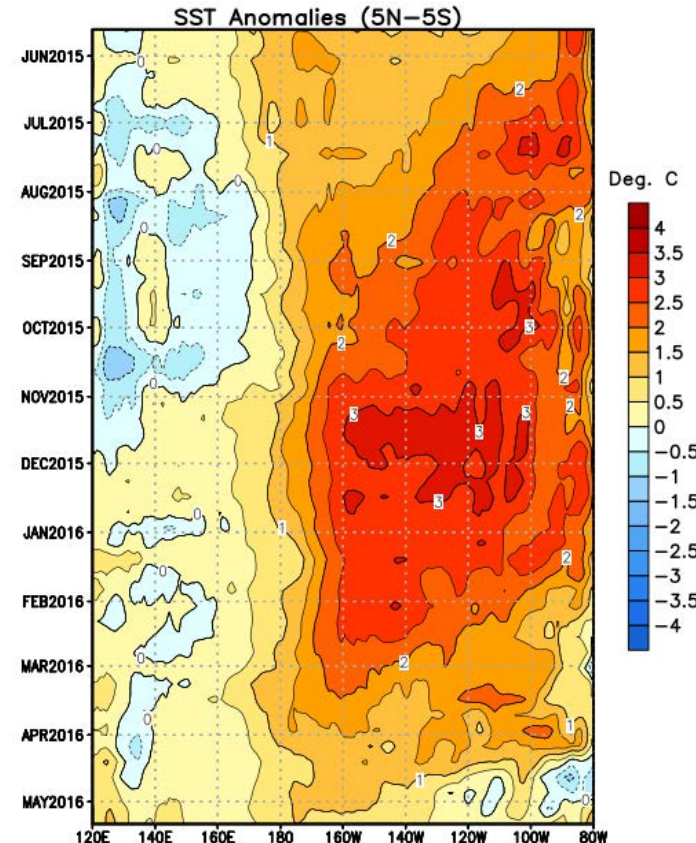
Эль-Ниньо, Ла-Нинья и Южное колебание



Индекс Эль-Ниньо: Oceanic Niño Index (ONI)

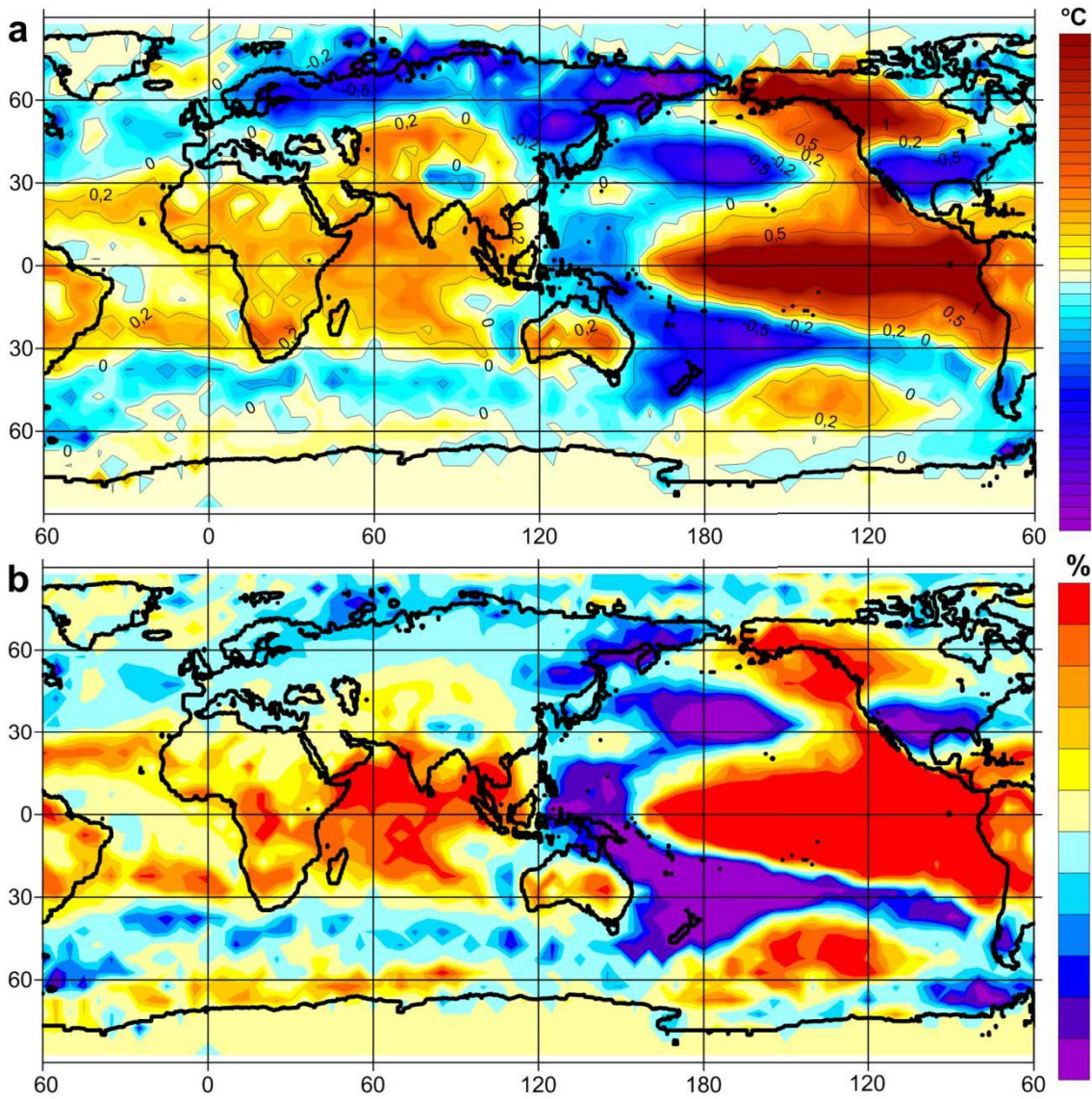


Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0.0	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0	1.4	1.6
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.0
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.0
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5				



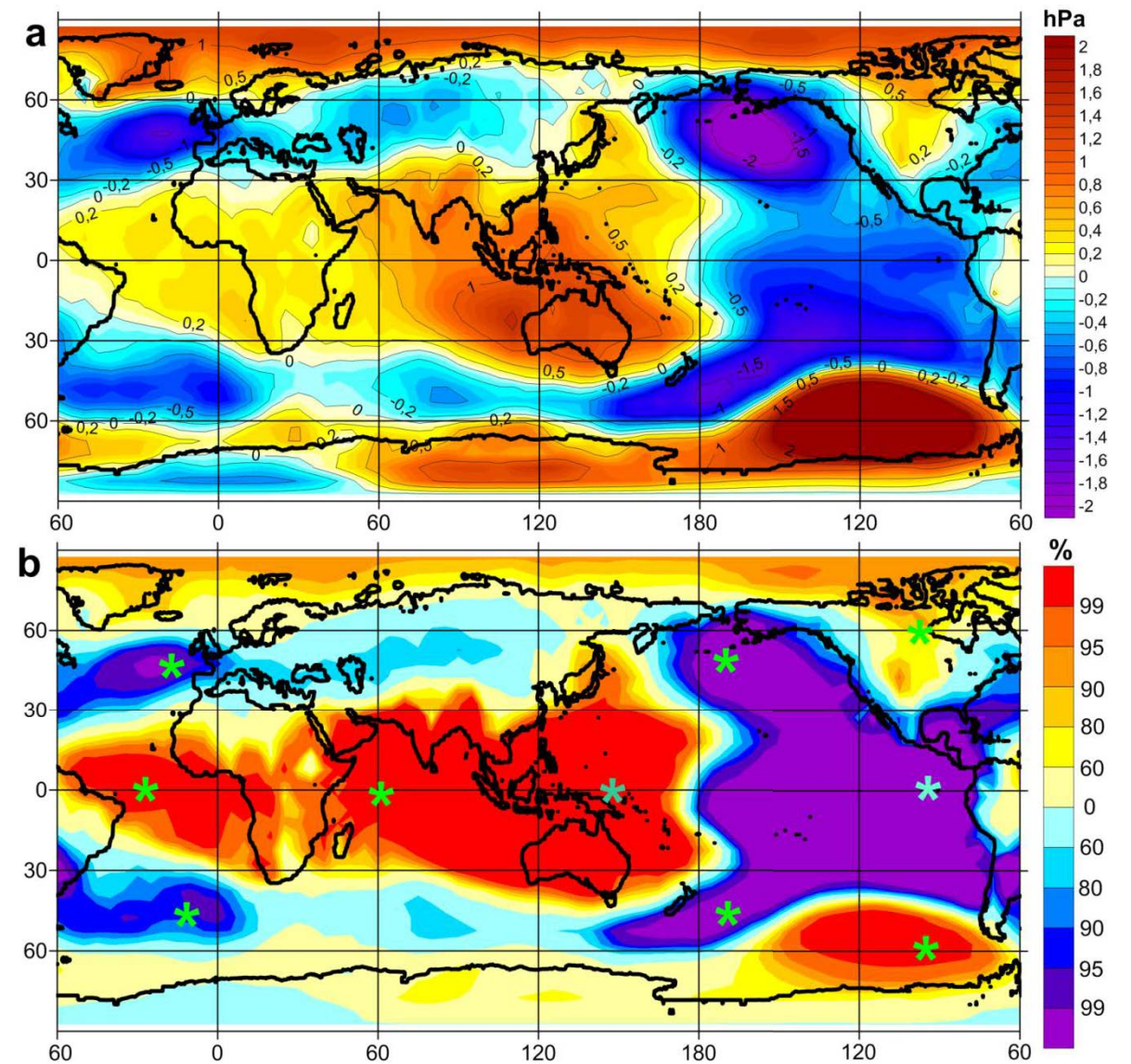
Существует несколько индексов Эль-Ниньо. Наиболее часто используется Oceanic Niño Index (ONI). Он рассчитывается как средние аномалии температуры поверхности океана (ТПО) в регионе Niño3.4 (5°с.ш.-5°ю.ш.; 170°з.д.-120°з.д.), сглаженные 3-месячным скользящим осреднением. Причем аномалии ТПО считаются относительно центрированных 30-летних средних значений, обновляемых каждые 5 лет. Если значение ONI превосходит +0.5°C на протяжении 5 месяцев или более, то это считается событием Эль-Ниньо. Если значение ONI меньше чем -0.5°C на протяжении 5 месяцев или более, то это считается событием Ла-Нинья.

Амплитуда колебаний температуры



а) Поле разности аномалий приповерхностной температуры между средним Эль-Ниньо и средним Ла-Нинья по данным HadCRUT за 1920-2017 гг. б) Поле значений t -критерия Стьюдента для (а).

Амплитуда колебаний давления



а) Поле разности аномалий атмосферного давления на уровне моря между средним Эль-Ниньо и средним Ла-Нинья по данным HadSLP2 за 1920-2017 гг. б) Поле значений t -критерия Стьюдента для (а). Звездочками отмечены регионы для расчета индекса Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО).

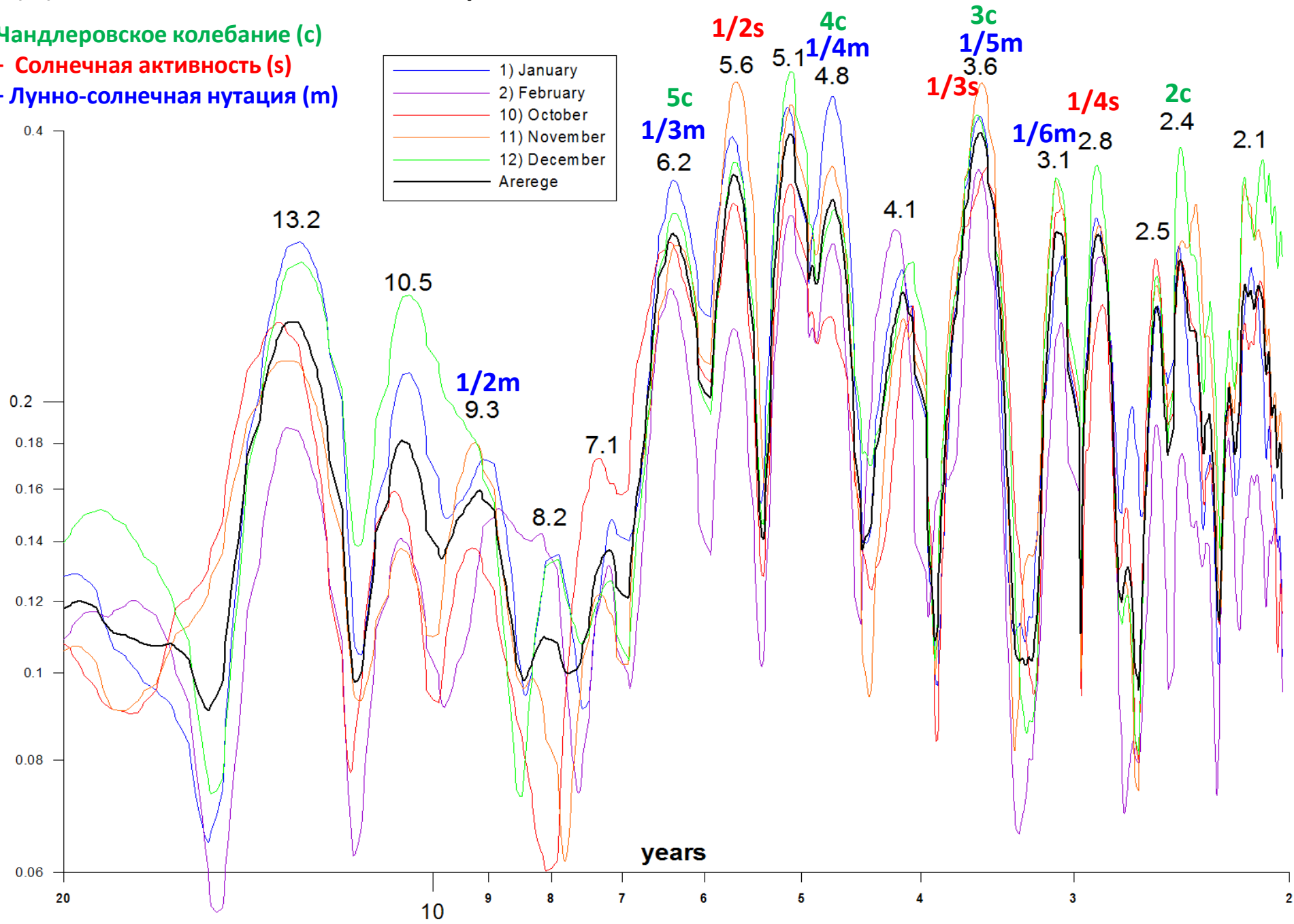
Детальный вид спектральных оценок индекса Эль-Ниньо

1.2 г. – Чандлеровское колебание (c)

11.2 г. – Солнечная активность (s)

18.6 г. – Лунно-солнечная нутация (m)

Энергетические спектры с максимальным разрешением индекса Эль-Ниньо (EONI) отдельно для январей, февралей, октябрей, ноябрей и декабрей, а также их среднее значение, по данным NOAA-CIRES 20CRv2c за 1920–2014 гг.



Данные и методика

- **NCEP/NCAR** (NCEP/NCAR Reanalysis 1) 1948-н.в.
- **HadCRUT4** (Met Office Hadley HadCRUT.4.5.0.0 Temperature) 1850-н.в.
- **HadSLP2** (Met Office Hadley Centre's mean Sea Level Pressure data set) 1850-н.в.
- **20thC_Rean** (NOAA-CIRES 20th Century Reanalysis V3) 1836-2015 гг.
- **ERA-20C** (ECMWF Atmospheric Reanalysis of the 20th Century) 1900-2010 гг.
- **JRA-55** (JMA Japanese 55-year Reanalysis) 1958-2014 гг.



Данные и методика

- Пусть $G(\phi, \lambda)$ есть поле ГАО давления на уровне моря (ДУМ), заданное во всех узлах регулярной сетки, покрывающей всю Землю. Оно рассчитывается по индексу GAO1, который является комбинацией центрированных и нормированных рядов средних аномалий ДУМ (относительно годового хода) в 10 очагах барического поля ГАО: (5° ю.ш. - 5° с.ш., 35°-25° з.д.) + (5° ю.ш. - 5° с.ш., 55°-65° в.д.) + (5° ю.ш. - 5° с.ш., 145°-155° в.д.) + (55°-65° с.ш., 95°-85° з.д.) + (65°-55° ю.ш. - 95°-85° з.д.) - (45°-55° с.ш., 175°-165° з.д.) - (45°-55° с.ш., 15°-5° з.д.) - (55°-45° ю.ш., 15°-5° з.д.) - (55°-45° ю.ш., 175°-165° з.д.) - (5° ю.ш. - 5° с.ш., 95°-85° з.д.).
- После расчета ряд GAO1 фильтруется скользящим средним с окном 3 месяца, центрируется и нормируется, то есть его среднее равно нулю, а дисперсия единице. Поле $G(\phi, \lambda)$ является разностью между средними полями положительной и отрицательной фазами ГАО, которые отбираются по значениям индекса GAO1 превосходящим +0.5 или меньшим -0.5, то есть по критерию половины среднего квадратичного отклонения (ряд центрирован и нормирован), на протяжении не менее 5 месяцев.
- Пусть $G_{EL}(\phi, \lambda, t)$ и $G_{LA}(\phi, \lambda, t)$ есть средние поля аномалий ДУМ в конкретном t -ом событии Эль-Ниньо или Ла-Нинья, также заданные на этой сетке. Они подсчитываются по океаническому индексу Эль-Ниньо (Oceanic Niño Index – ONI). При Эль-Ниньо значение индекса ONI должно превосходить +0.5 °C на протяжении 5 месяцев или более, при Ла-Нинья быть меньше чем -0.5 °C.
- Нормализуем поле $G(\phi, \lambda)$. Для этого подсчитаем сумму квадратов значений поля $G(\phi, \lambda)$ во всех узлах выбранной регулярной сетки, и затем поделим значение в каждом узле на корень квадратный из полученной суммы. Получившиеся нормированное поле и будем далее обозначать $G(\phi, \lambda)$.

- Вычислим коэффициенты разложения по $G(\phi, \lambda)$ для всех событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья по формулам:

$$K_{EL}(t) = \sum_{\phi} \sum_{\lambda} G_{EL}(\phi, \lambda, t) * G(\phi, \lambda), \text{ где } t=1, \dots, N(EN) \text{ – события Эль-Ниньо;}$$

$$K_{LA}(t) = \sum_{\phi} \sum_{\lambda} G_{LA}(\phi, \lambda, t) * G(\phi, \lambda), \text{ где } t=1, \dots, N(LA) \text{ – события Ла-Нинья.}$$

- Вычислим вклады ГАО во все события Эль-Ниньо и Ла-Нинья по формулам:

$$\hat{G}_{EL}(\phi, \lambda, t) = K_{EL}(t) * G(\phi, \lambda),$$

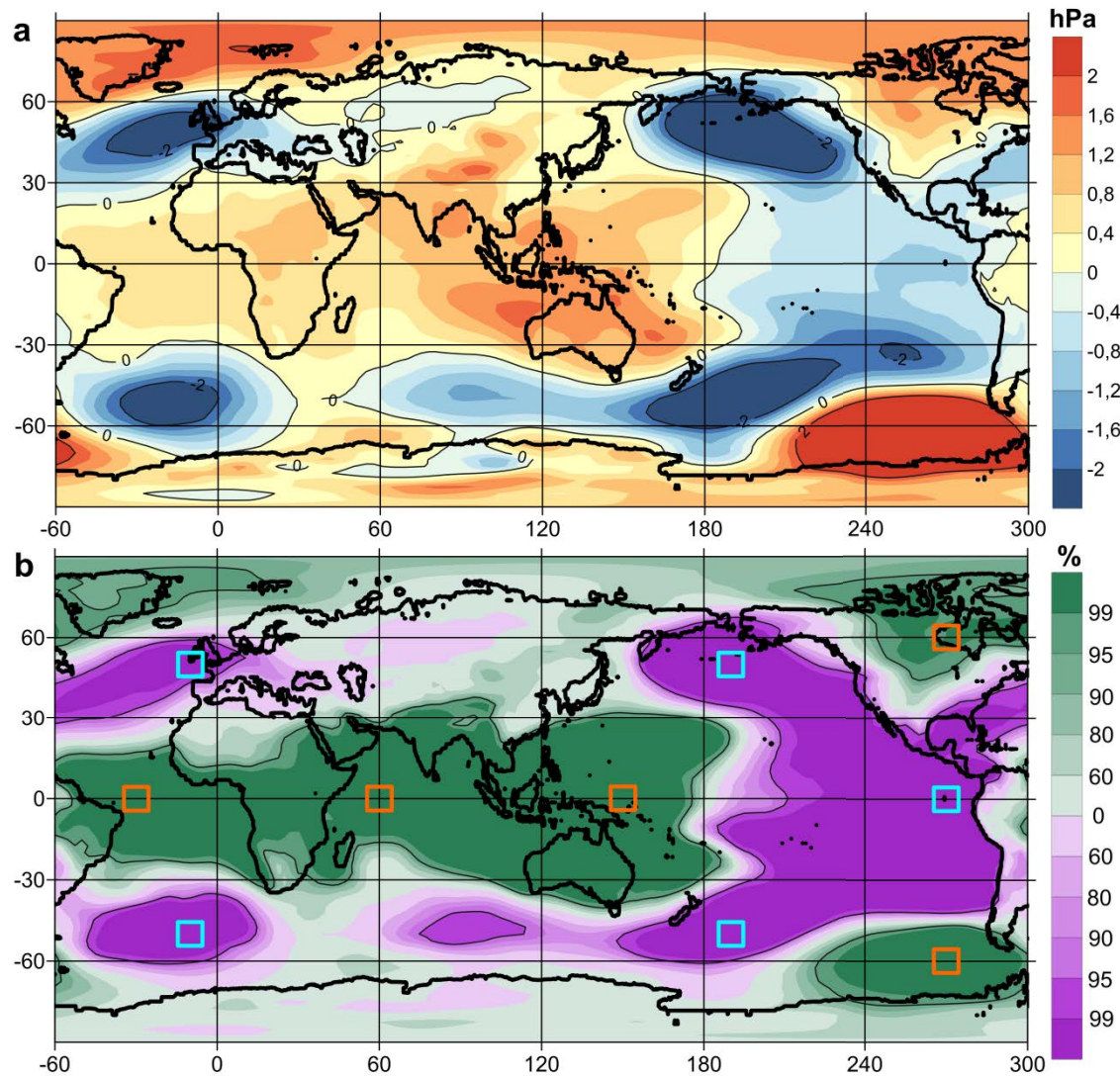
$$\hat{G}_{LA}(\phi, \lambda, t) = K_{LA}(t) * (-G(\phi, \lambda)).$$

- Вычислим отклонения всех исходных полей $G_{EL}(\phi, \lambda, t)$ и $G_{LA}(\phi, \lambda, t)$ от соответствующих им вкладов по формулам:

$$X_{EL}(\phi, \lambda, t) = G_{EL}(\phi, \lambda, t) - \hat{G}_{EL}(\phi, \lambda, t),$$

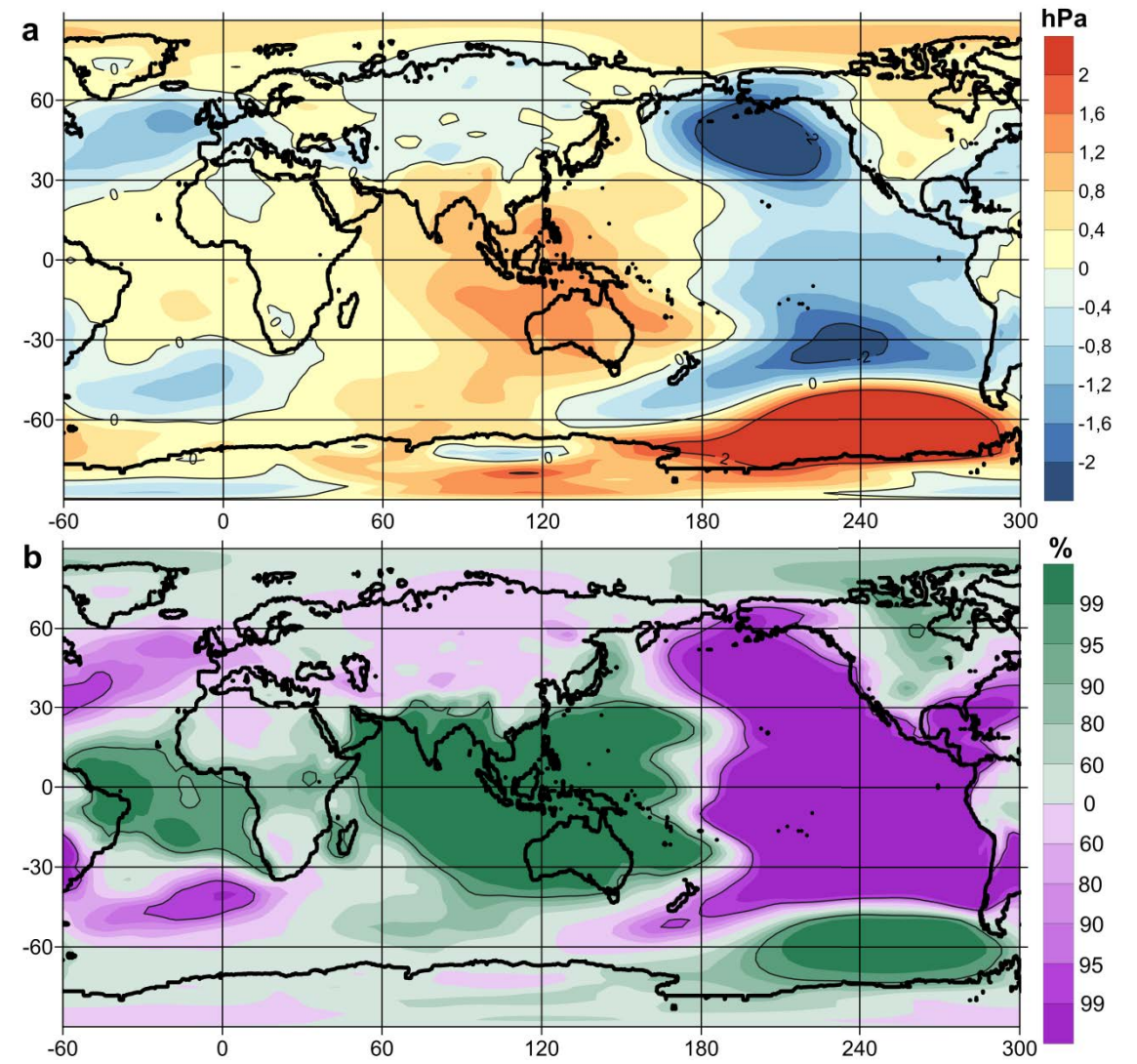
$$X_{LA}(\phi, \lambda, t) = G_{LA}(\phi, \lambda, t) - \hat{G}_{LA}(\phi, \lambda, t).$$

- Вычислим разность между средними значениями полученных полей отклонений $X_{EL}(\phi, \lambda, t)$ и $X_{LA}(\phi, \lambda, t)$ для всех $t=1, 2, \dots, N(EL)$ и всех $t=1, 2, \dots, N(LA)$, для того чтобы подсчитать поле средних отклонений разностей между событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья по индексу ONI от поля ГАО. И оценим статистическую значимость этих значений средних отклонений по t -критерию Стьюдента.



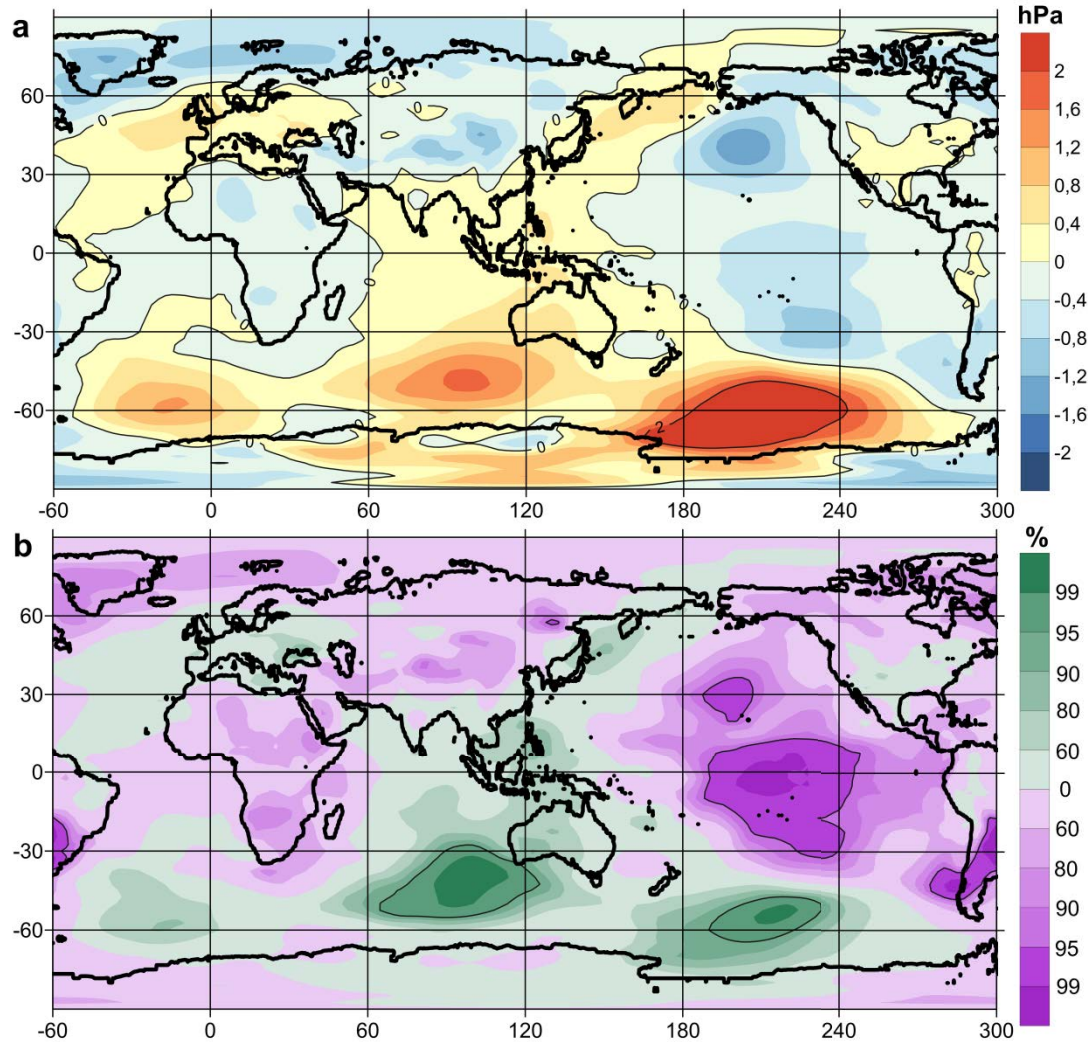
а) Поле разности средних аномалий атмосферного давления на уровне моря (ДУМ) между противоположными фазами Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО) по индексу GAO1 (с не удаленным линейным трендом) за 1950-2021 гг.

б) Поле значений вероятности для (а) по t -критерию Стьюдента, зеленый и фиолетовый цвета соответствуют значимости положительных и отрицательных отклонений ДУМ. Оранжевыми квадратами обозначены районы входящие в индекс GAO1 со знаком плюс, голубыми квадратами – со знаком минус. В качестве исходной информации использованы среднемесячные данные ДУМ из NCEP/NCAR Reanalysis.



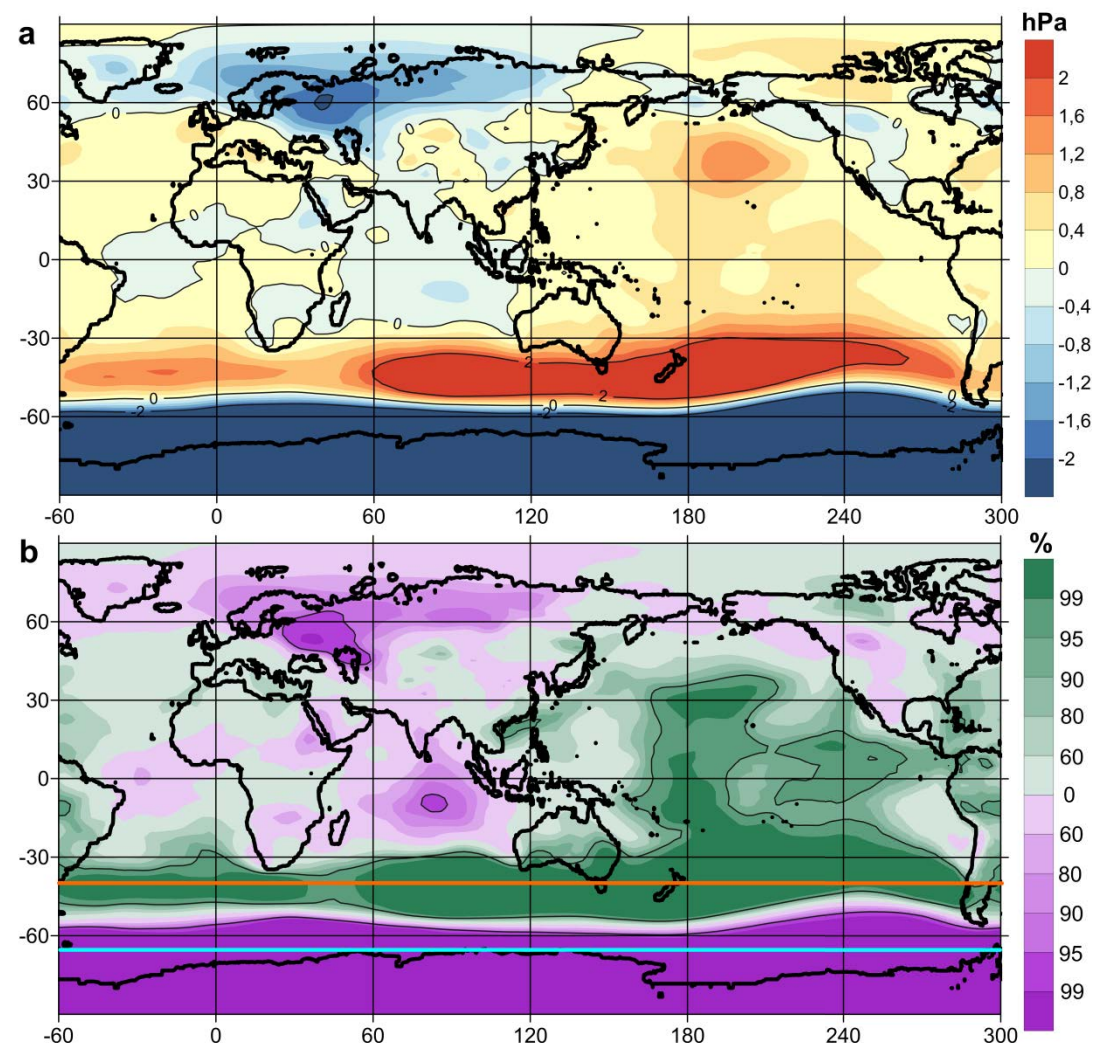
а) Поле разности средних аномалий атмосферного давления на уровне моря (ДУМ) между противоположными фазами Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК) по индексу ONI за 1950-2021 гг., взятому без изменений с сайта NOAA Climate Prediction Center.

б) Поле значений вероятности для (а) по t -критерию Стьюдента, зеленый и фиолетовый цвета соответствуют значимости положительных и отрицательных отклонений ДУМ. В качестве исходной информации использованы среднемесячные данные ДУМ из NCEP/NCAR Reanalysis.



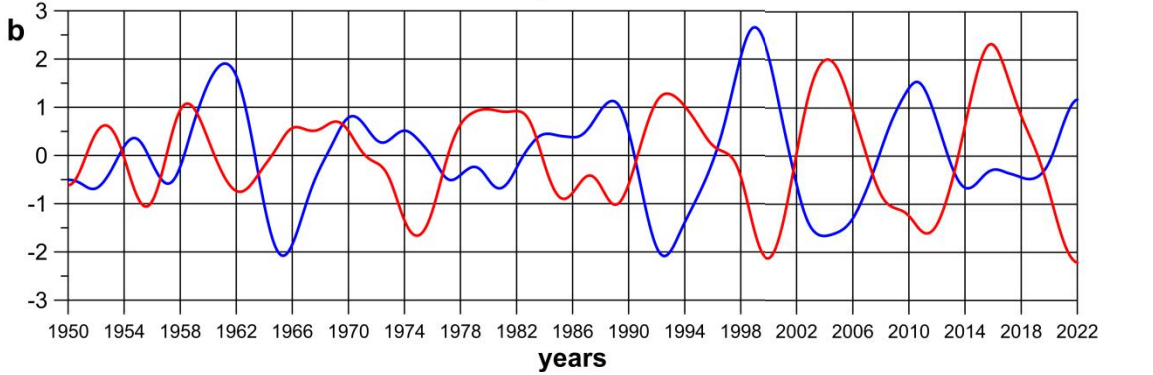
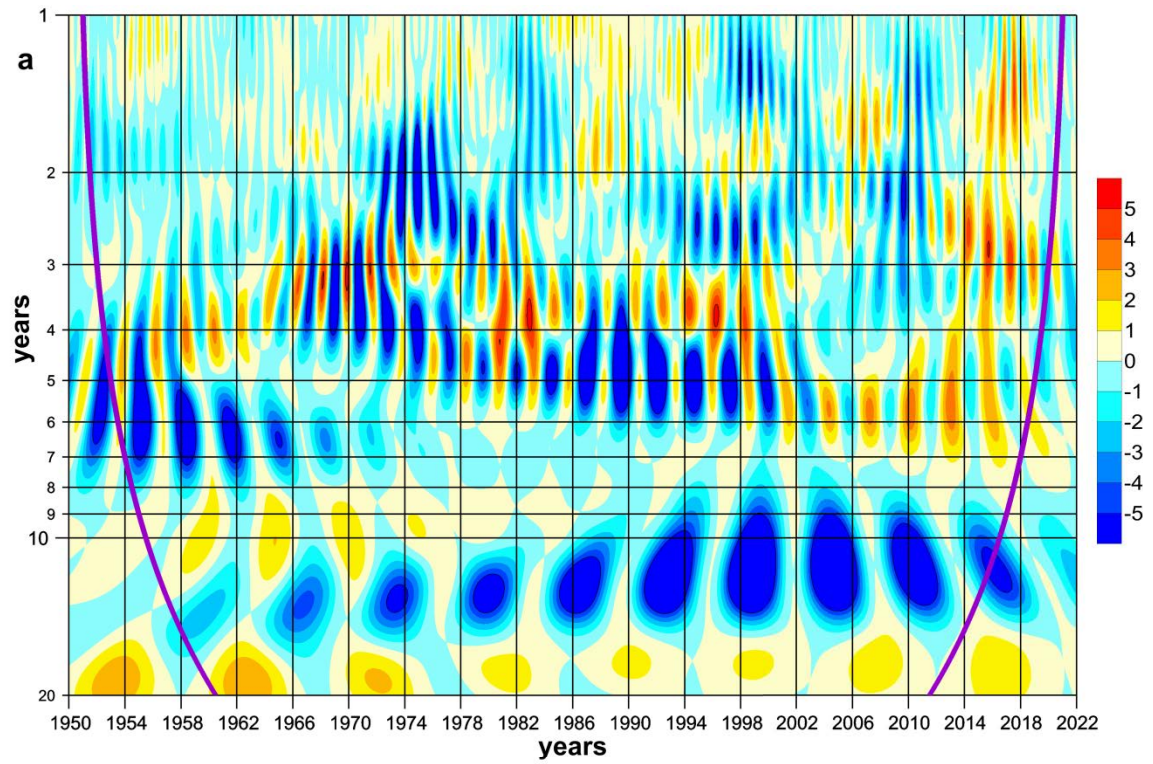
а) Отклонения аномалий атмосферного давления на уровне моря (ДУМ) поля ЭНЮК рассчитанного по индексу ONI от поля ГАО рассчитанного по индексу GAO1 за 1950-2021 гг.

б) Поле значений вероятности для (а) по t -критерию Стьюдента, зеленый и фиолетовый цвета соответствуют значимости положительных и отрицательных отклонений ДУМ. В качестве исходной информации использованы среднемесячные данные ДУМ из NCEP/NCAR Reanalysis.

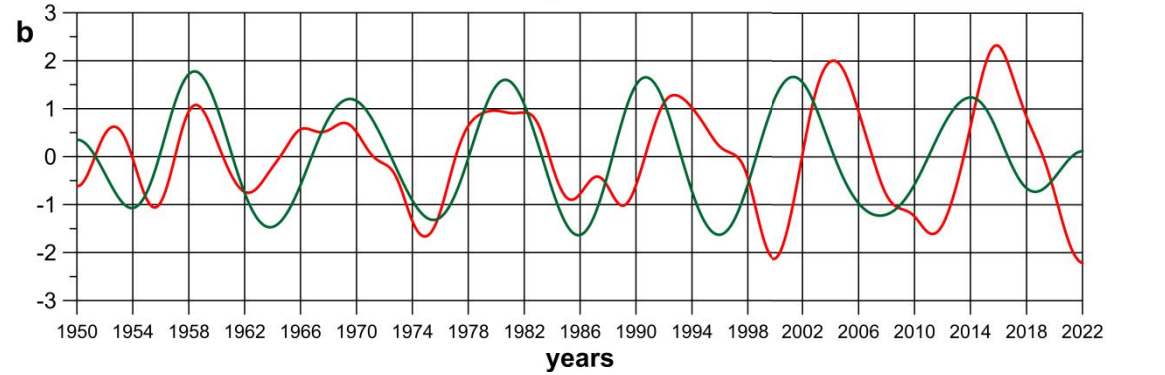
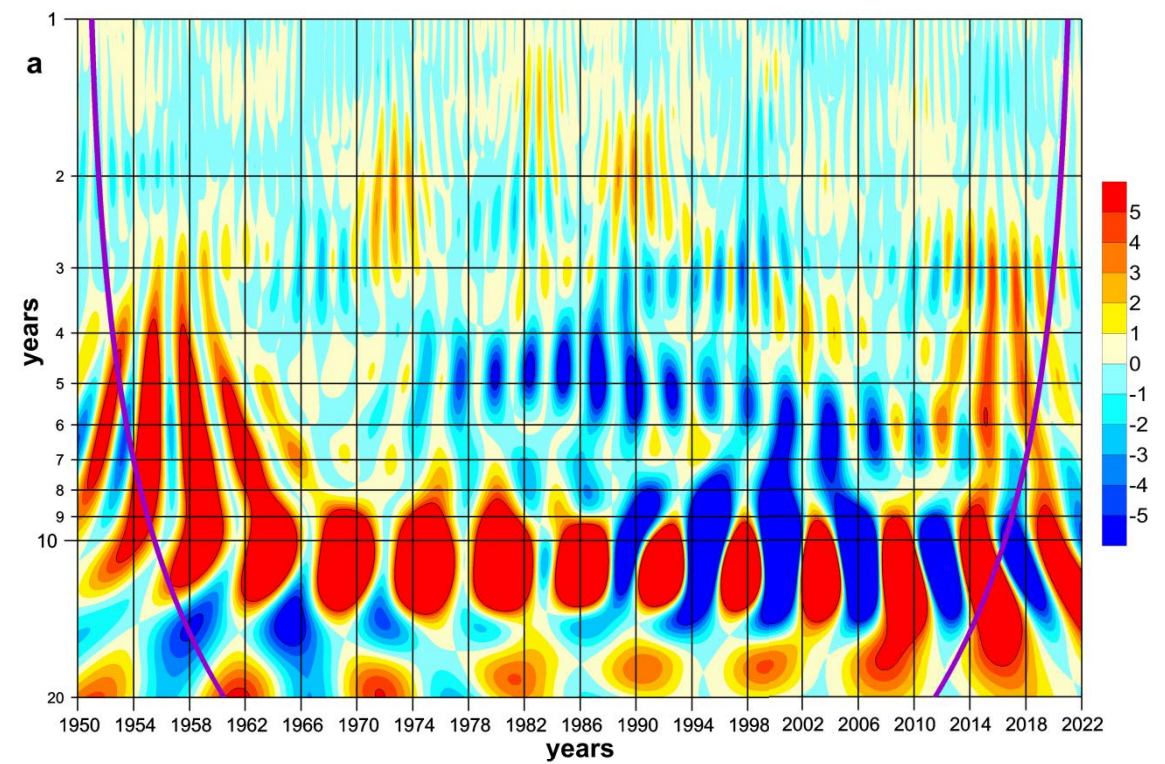


а) Поле разности средних аномалий атмосферного давления на уровне моря (ДУМ) между противоположными фазами Южной кольцевой моды (ЮКМ), по индексу ЮКМ за 1950-2021 гг., вычисленному как разность средних зональных аномалий ДУМ между 40° ю.ш. (оранжевая линия) и 65° ю.ш. (голубая линия), с последующим удалением линейного тренда.

б) Поле значений вероятности для (а) по t -критерию Стьюдента, зеленый и фиолетовый цвета соответствуют значимости положительных и отрицательных отклонений ДУМ. В качестве исходной информации использованы среднемесячные данные ДУМ из NCEP/NCAR Reanalysis.



а) Кросс-вейвлетная диаграмма синхронности вариаций океанического индекса Эль-Ниньо (ONI) и индекса Южной кольцевой моды (ЮКМ). Произведено предварительное центрирование и нормирование рядов на их среднеквадратические отклонения. Краевые эффекты вейвлетов показаны фиолетовыми линиями.
 б) Временные ряды ONI (красный) и индекса ЮКМ (синий) после применения полосового фильтра Баттерворта от 10 до 12 лет.



а) Кросс-вейвлетная диаграмма синхронности вариаций океанического индекса Эль-Ниньо (ONI) и временного ряда общего солнечного излучения (TSI). Произведено предварительное центрирование и нормирование рядов на их среднеквадратические отклонения. Краевые эффекты вейвлетов показаны фиолетовыми линиями.
 б) Временные ряды ONI (красный) и TSI (зеленый) после применения полосового фильтра Баттерворта от 10 до 12 лет.

Заключения

- Рассчитано поле средних отклонений межгодовой изменчивости аномалий атмосферного давления на уровне моря (ДУМ) при Эль-Ниньо – Южном колебании (ЭНЮК) от Глобальной атмосферной осцилляции (ГАО). Это поле показало, что ГАО включает в себя помимо ЭНЮК ещё и межгодовую изменчивость аномалий ДУМ характерную для Южной кольцевой моды (ЮКМ). Также показано, что ГАО не включает в себя полностью изменчивость ДУМ связанную с событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья центрально-тихоокеанского типа. Во всех остальных узлах сетки поле средних отклонений ЭНЮК от ГАО имеет разности ДУМ слабо отличающиеся от нуля и формально статистически незначимые. Это означает, что в межгодовой климатической изменчивости ДУМ ассоциированной с ГАО существуют только две моды: ЭНЮК и ЮКМ.
- С помощью кросс-вейвлетного анализа индексов ЭНЮК и ЮКМ обнаружены их отрицательные связи на периодах колебаний близких к 11 годам. Анализ временных рядов этих индексов и временного ряда общего солнечного излучения (TSI) позволил выдвинуть гипотезу о влиянии синхронизации и рассинхронизации квази-11-летнего колебания солнечной активности и ЭНЮК на ослабление и усиление отрицательных связей между ЭНЮК и ЮКМ на периодах близких к 11 годам. Проверка данной гипотезы является предметом для дальнейших исследований.

Спасибо за внимание!