

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра метеорологии и климатологии

**Мониторинг события Эль-Ниньо
по данным спутникового зондирования Земли**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студентки 2 курса 215 группы

направления 05.04.05 Прикладная гидрометеорология

географического факультета

Спиряхиной Анастасии Андреевны

Научный руководитель

зав. кафедрой, к.г.н., доцент

М.Ю. Червяков

Зав. Кафедрой

к.г.н., доцент

М.Ю. Червяков

Введение

Изучение явлений, происходящих в океане, которые оказывают влияние на климат планеты, становится одной из приоритетных задач, в связи с проблемой глобального потепления климата. В глобальном масштабе повышение температуры океана было самым значительным вблизи поверхности, и температура в верхних 75 м повышалась на $0,11^{\circ}\text{C}$ за десятилетие в период 1971–2010 гг., что было отмечено в докладе ИРСС [1].

Явление Эль-Ниньо (ЭН) - яркий пример короткопериодной изменчивости климата, которое оказывает значительное влияние на экономику и жизнь людей: засухи, наводнения, сокращение рыбных уловов, потери урожая, увеличение количества тропических циклонов. Изучение механизмов этого события необходимо для понимания и прогнозирования экстремальных погодных явлений. Эль-Ниньо проявляется в значительном повышении температуры поверхности океана (ТПО), что приводит к развитию мощной конвективной облачности и выпадению интенсивных осадков [2].

Изменение повторяемости этих явлений может иметь глобальные последствия, отражающиеся на осадках и температуре. За весь период наблюдений ЭН было зарегистрировано два наиболее мощных в 1997-1998 гг и в 2015-2016 гг. В период работы радиометра ИКОР произошло два события Эль-Ниньо.

Одним из методов выявления события ЭН является мониторинг аномалий ТПО. В данной работе рассматривается связь между ТПО и составляющими радиационного баланса Земли в тропической части Тихого океана.

Вышеизложенное определяет главную цель исследования: изучение взаимосвязи составляющих радиационного баланса Земли (РБЗ) и ТПО в Тихом океане во время событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья.

Предмет исследования – взаимодействие между компонентами радиационного баланса Земли и ТПО во время Эль-Ниньо.

Основное содержание работы

Главным источником и стоком энергии в системе Земля-океан-атмосфера является радиация. Радиационным балансом подстилающей поверхности (РБП) называют разность между приходом и расходом лучистой энергии, поглощаемой и излучаемой от этой поверхности [3]. От РБП зависит температура приземного слоя воздуха и подстилающей поверхности, их суточные и годовые изменения. РБП зависит от высоты Солнца, продолжительности светлого времени суток, характера и состояния земной поверхности, наличия аэрозолей и водяного пара в атмосфере, содержания поглощающих газов, облачности. РБП - микроклиматическая характеристика, которая может определяться только по измерениям в данном конкретном месте поверхности.

Вариации составляющих РБЗ влияют на сезонные и межгодовые изменения некоторых основных параметров океана. Эти изменения аналогичны тем, что происходят в атмосфере.

В 2009 году на орбиту был выведен ИСЗ нового поколения «Метеор-М» № 1, на борту которого был установлен радиометр ИКОР-М предназначенный для измерения с отраженной коротковолновой радиации в диапазоне 0,3–4,0 мкм. Данный инструмент был разработан и изготовлен в СГУ под руководством профессора Ю.А Склярова. Этот радиометр проработал на борту ИСЗ в течение пяти лет, вплоть до завершения активного существования спутника в сентябре 2014 г. Аналогичный радиометр ИКОР-М установлен на борту ИСЗ «Метеор-М» № 2, который был запущен 8 августа 2014 г данные со спутника поступают по сей день (в соответствии с рисунком 1) [4].

Данные со спутников серии «Метеор-М» поступают в Научный центр оперативного мониторинга Земли и в дальнейшем обрабатываются при помощи разработанного в Саратовском университете программного обеспечения.

Сначала для каждой ячейки накапливается массив мгновенных измерений. Затем выполняются расчёты среднесуточных значений величин потока отражённой коротковолновой радиации и альбедо на уровне верхней границе атмосферы, по которым рассчитываются среднемесячные значения.

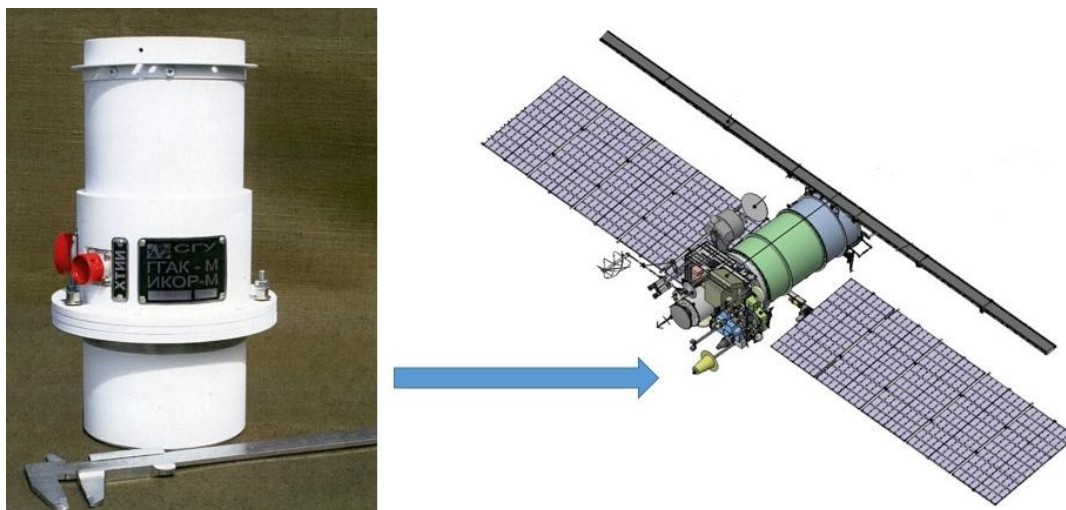


Рисунок 1 - Радиометр ИКОР-М и спутник серии «Метеор-М» [4]

Программа позволяет оценить пространственно-временную изменчивость составляющих радиационного баланса для различных регионов. Также программа позволяет визуализировать расположение витка спутника на физической карте Земли.

В августе 2014 г. «Метеор-М» № 1 и 2 проработали совместно, что позволяет установить соответствие шкал этих приборов. Сопоставление рядов наблюдений было проведено с помощью построения корреляционной диаграммы по ячейкам карт со значениями альбедо.

Прибор ИКОР-М в течение времени уменьшает свою чувствительность. Источником этого изменения является снижение прозрачности стеклянного фильтра в результате загрязнения его поверхности пылью или другими продуктами собственной атмосферы космического аппарата. Относительно малая величина изменения чувствительности позволила нам учесть ее при проведении обработки наблюдательных данных.

За период работы радиометра ИКОР наблюдалось три значительных событий Эль-Ниньо. Явление Эль-Ниньо охватывает почти весь тропический Тихий океан. Поверхность океана у побережья Южной Америки более холодная, чем в окружающих районах, что связано с перуанским холодным течением и апвеллингом. В декабре-январе здесь появляется теплое течение,

направленное на юг, которое способствует опусканию холодных вод. Это течение не распространяется дальше северного Перу и развивается до весны. Однако в отдельные годы потепление может быть значительно более интенсивным, сохраняться длительное время и охватывать почти весь тропический Тихий океан. Вместо ежегодного охлаждения, наступающего в марте-апреле, поверхностные воды продолжают нагреваться на большей части экваториального Тихого океана; температура океана может оставаться выше среднеклиматической нормы в течение года и более [5].

В некоторых случаях после Эль-Ниньо следует явление Ла-Нинья. Ла-Нинья – это состояние океана, противоположное явлению Эль-Ниньо. Его отличают отрицательные аномалии температуры поверхности океана (ТПО) на востоке и в центре Тихого океана, усиление пассатных ветров вдоль экватора. Эль-Ниньо и Ла-Нинья - явления нерегулярные.

При выявлении Эль-Ниньо по аномалиям ТПО принято выделять следующие территории: Nino1+2 (0° – 10° ю.ш., 90° - 80° з.д.), Nino3 (5° с.ш. – 5° ю.ш., 150° - 90° з.д.), Nino3.4 (5° с.ш. – 5° ю.ш., 170° - 120° з.д.), Nino4 (5° с.ш. – 5° ю.ш., 160° в.д. – 150° з.д.) (в соответствии с рисунком 2).

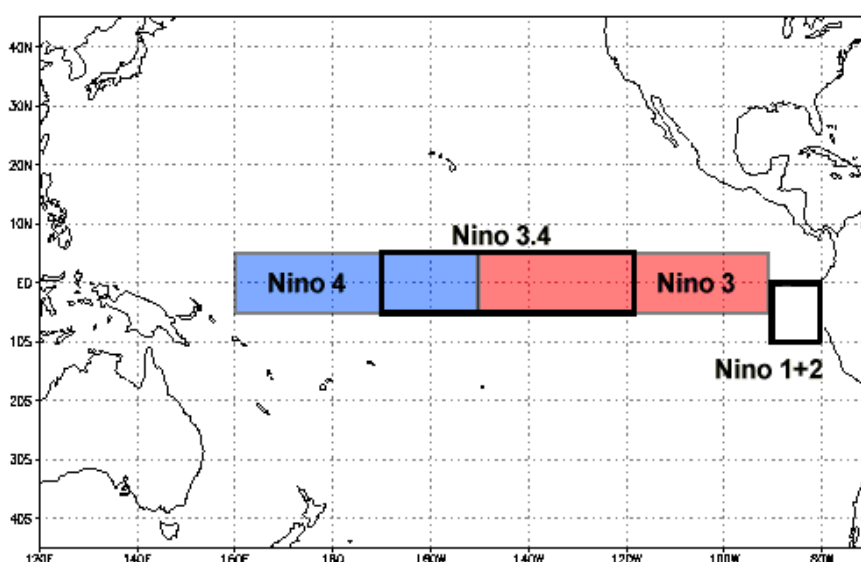


Рисунок 2 - Регионы для мониторинга событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья) [6]

Согласно индексу ONI явление ЭН наблюдается в тех случаях, когда средний показатель аномалий ТПО, осредненный за три месяца был выше 0,5 и

повторялся не менее трех раз подряд. На рисунке 3 изображен график, наглядно показывающий значение индексов ONI за период с 2000 г до начала 2020.

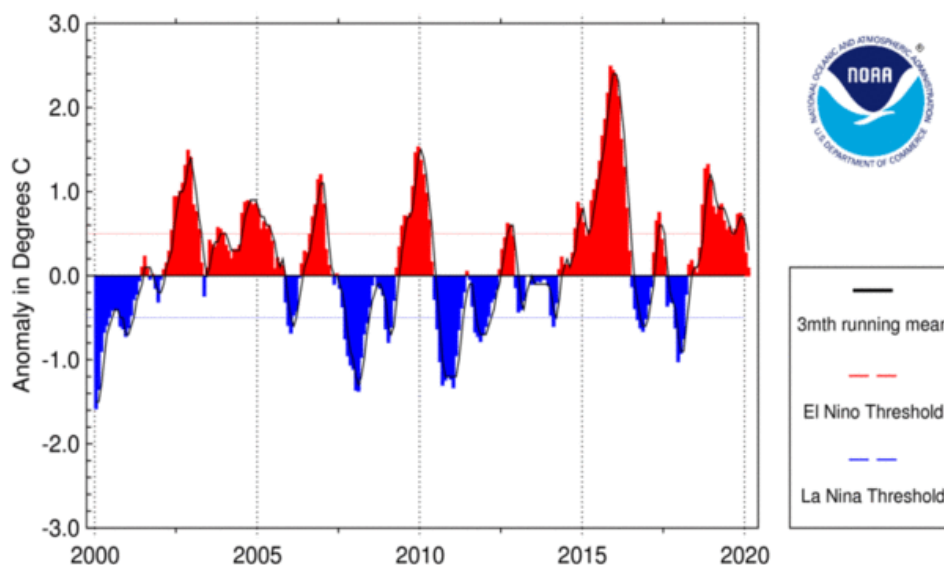


Рисунок 3 - Значения индекса ONI в °C для региона Nino 3.4 за период с 2000 до начала 2020 года [6]

Эль-Ниньо проявляется в значительном повышении температуры поверхности океана, что приводит к развитию мощной конвективной облачности. Мы проанализировали поле облачности в экваториальной части тихого океана.

Доля облаков - это метод измерения, который ученые используют для определения того, какая часть Земли покрыта облаками. Доля облачности измеряется из космоса с помощью спутниковых датчиков, таких как спектрометр MODIS на борту спутников NASA Terra и Aqua.

Доля облачности - это часть поверхности Земли, покрытая облаками, по сравнению с частью Земли, не покрытой облаками. Доля облачности получается из продукта маски облачности с разрешением пикселя 1 км, сделанного из измерений яркости и отражения Земли, полученных с помощью спектрометра MODIS. Для определения облачности используется 14 из 36 спектральных каналов инструмента MODIS. Алгоритм использует серию видимых и инфракрасных пороговых значений, тестов на согласованность, также предоставляется индикация теней [7].

Результатом измерений являются карты среднемесячных глобальных распределений облачности, которые показывают, какая часть площади была пасмурной в среднем за каждый месяц. (в соответствии с рисунком 4). Цвета варьируются от синих (без облаков) до белого (облачный).

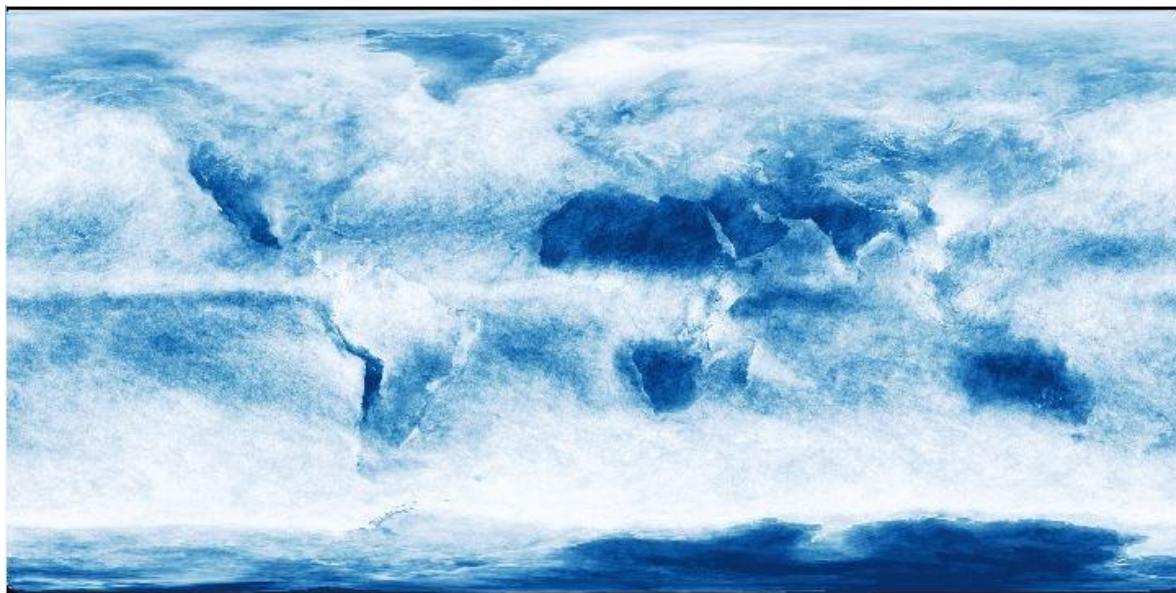


Рисунок 4 – Карта среднемесячного глобального распределения облачного покрова за апрель 2021 г. [7]

На рисунке 5 представлено пространственно-временное распределение доли облаков в экваториальной зоне Тихого океана за период с января 2010 по февраль 2020 года. Для построения использовались среднемесячные данные глобального распределения доли облачности спектрорадиометра MODIS. Осреднение доли облачности проводилось по меридиональным разрезам шириной в 2,5 градуса от 5° с.ш до 5° ю.ш. для всей экваториальной части Тихого океана.

На рисунке хорошо заметен сезонный ход облачности, а также влияние Эль-Ниньо. Во время ЭН во всех трех случаях (2009-2010 гг, 2015-2016 гг, 2019 г.) существенно уменьшалась (менее 0,4) доля облачности на востоке экваториальной части Тихого океана и увеличивалась (до 1) в центре океана.

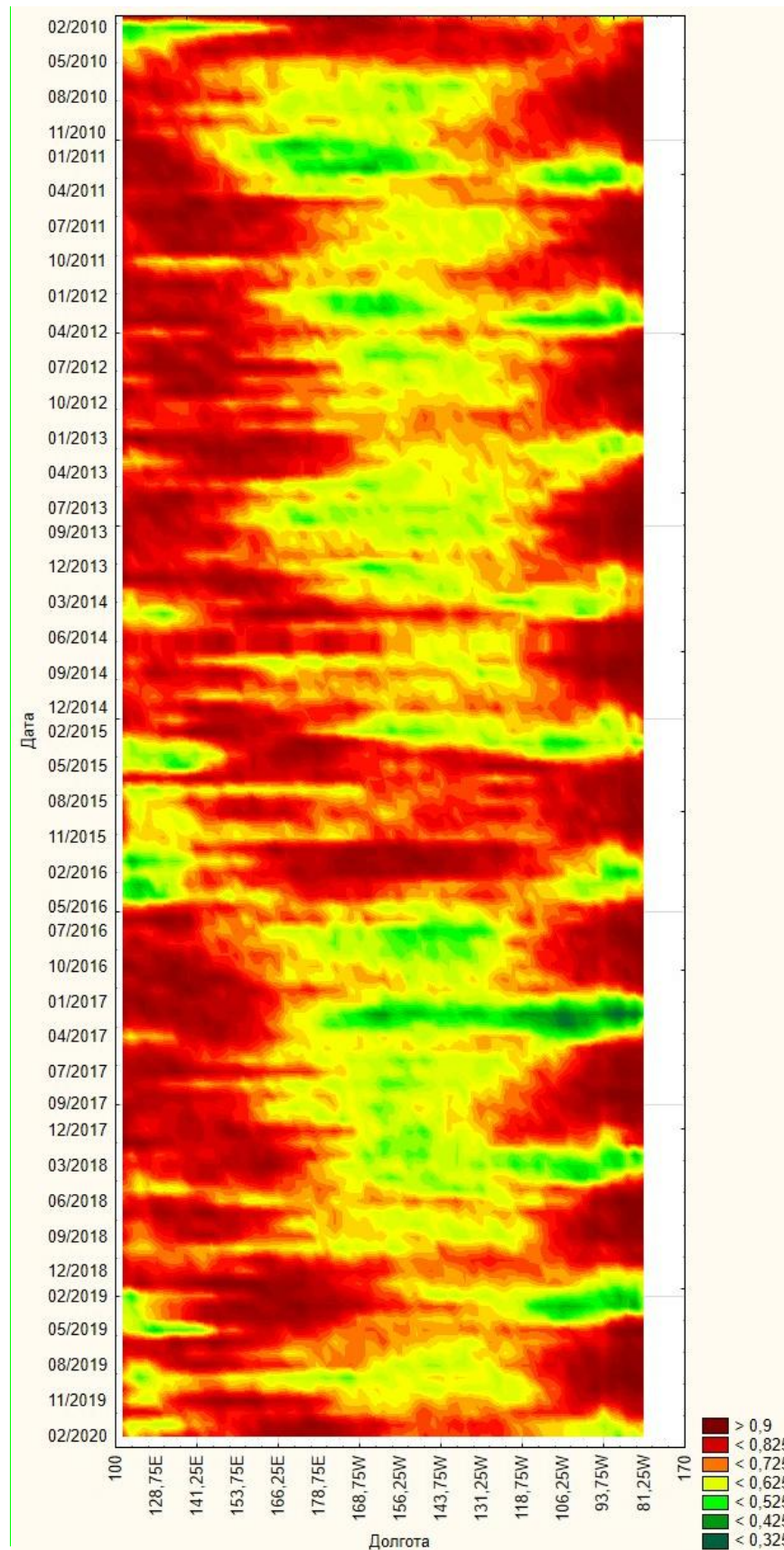


Рисунок 5 – Пространственно-временное распределение доли облаков в экваториальной зоне Тихого океана за период с января 2010 по февраль 2020 г. (составлено автором)

Используя данные поглощённой солнечной радиации (ПКР) и альbedo, полученные с помощью радиометра ИКОР-М, была оценена возможность обнаружения этого явления в Тихом океане с 2010 по 2019 год [8, 9].

Используя данные альbedo, полученные с помощью радиометра ИКОР-М, были получены следующие результаты. Альbedo – отношение потока отраженной данной поверхностью радиации к потоку падающей радиации [3].

На рисунке 6 представлено пространственно-временное распределение альbedo, полученное по данным радиометров ИКОР с января 2010 по август 2019 года. Для этого был построен шаблон в программе IKOR_Fields_Editor по меридиональным разрезам шириной в 2,5 градуса от 5° с.ш до 5° ю.ш. для всей экваториальной части Тихого океана. Для каждого разреза проводилось осреднение величин альbedo для выделенной области за месяц.

На графике хорошо прослеживается годовой ход значений альbedo. Зимой наблюдается повышение значений альbedo: до 15-20 % - в центре Тихого океана, до 30 % - на западе. Летом прослеживается уменьшение значений характеристики в этих областях. На востоке океана годовой ход величины альbedo противоположен: в январе-феврале значения понижаются до 15-20 %, летом в данном регионе наблюдаются высокие значения до 35 %.

В районе 180° долготы во время ЭН 2009-2010 годов формируется область с высокими значениями альbedo 35 – 40 %, связанная с развитием мощной конвективной облачности, вызванной повышением ТПО. В отдельных точках значения достигали 45 %.

Наиболее сильное и продолжительное событие Эль-Ниньо в 2015-2016 гг привело к повышению значений альbedo до 40 % в районе 160 ° в.д. в июне 2015 года и в области несколько восточнее - в январе 2016 г. Аналогичная картина наблюдается в случае ЭН 2019 года.

С развитием впоследствии Ла-Нинья летом 2011 и 2016 годов область высоких значений альbedo исчезает. Повышение ТПО на западе Тихого океана в период Ла-Нинья способствует увеличению там конвективной облачности, а,

следовательно, и увеличению альбедо до 35 %, что также прослеживается на рисунке.

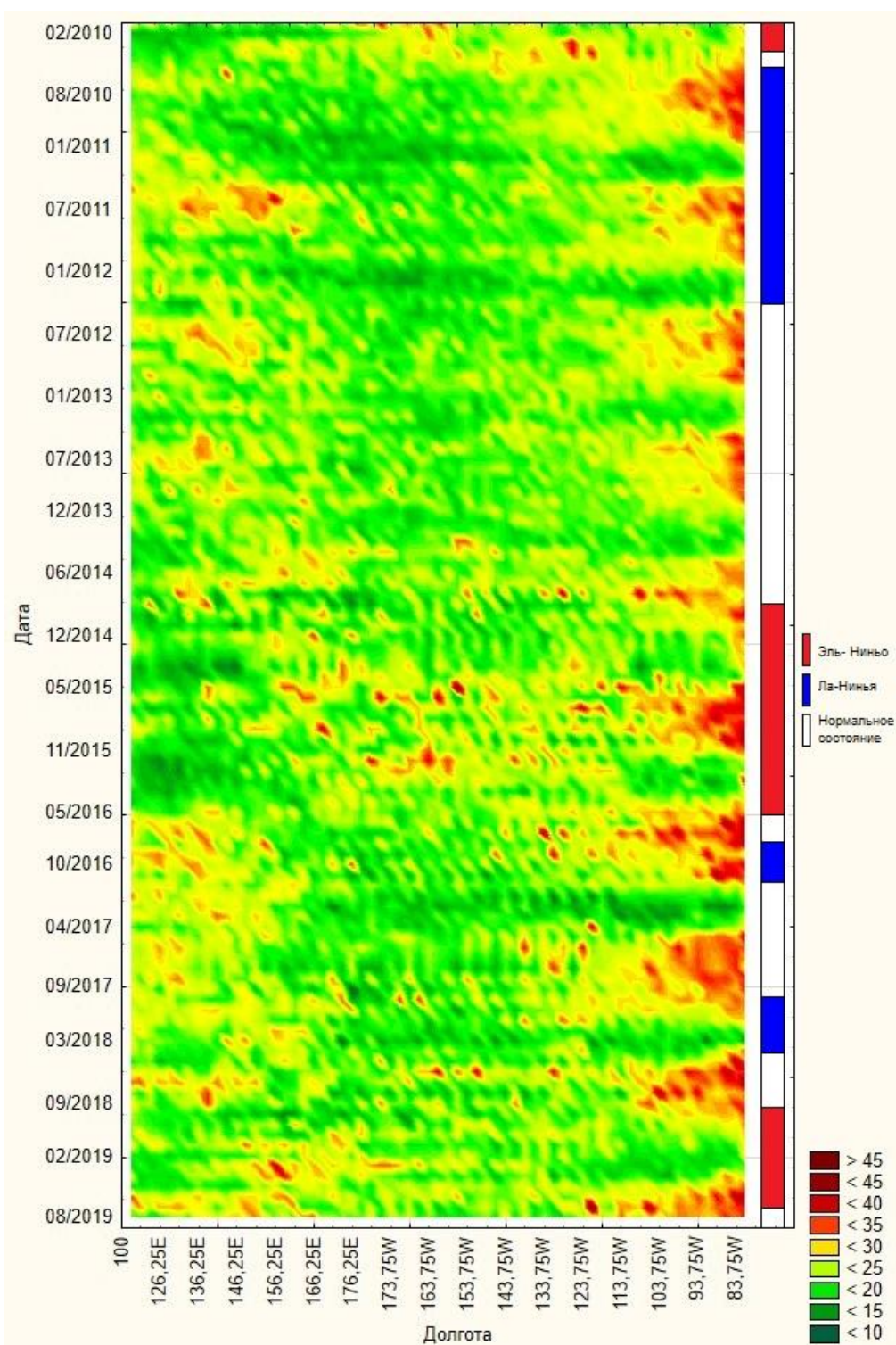


Рисунок 6 - Пространственно-временное распределение альбедо в экваториальной зоне Тихого океана за период с января 2010 по август 2019 года (составлено автором)

Заключение

Было изучено взаимодействие между составляющими радиационного баланса Земли в коротковолновом диапазоне и события Эль-Ниньо. Были установлены закономерности изменения компонентов РБЗ в зависимости от появления ЭН.

Проведен анализ годового хода значений альbedo и ПКР в экваториальной части Тихого океана. Следует подчеркнуть, что годовой ход значений альbedo на западе и в центре экваториальной части Тихого океана противоположен годовому ходу на востоке океана.

По результатам проделанной работы можно сделать следующие выводы:

Изучение составляющих РБЗ в экваториальной части Тихого океана, позволяет производить мониторинг события Эль-Ниньо, которое ярко проявляется в поле альbedo и поглощенной солнечной радиации по данным радиометра ИКОР-М.

Во время ЭН на западе и в центре экваториальной части Тихого океана формируется область с высокими значениями альbedo 35 – 40 %, связанная с развитием мощной конвективной облачности.

Эль-Ниньо значительно увеличивает значения альbedo во всех рассматриваемых регионах, а значения поглощенной радиации наблюдаются в среднем ниже, чем в период между событиями.

Среднемесячные величины альbedo и поглощенной солнечной радиации могут быть использованы в качестве предикторов при определении фаз развития и интенсивности событий Эль-Ниньо (Ла-Нинья) в Тихом океане. Самыми оптимальными регионами для мониторинга таких климатических событий могут выступать регионы Nino 4 и Nino 3.4.

Составляющие РБЗ имеют существенный отклик в следствии изменения ТПО в экваториальной части Тихого океана. В различные годы для рассматриваемого периода коэффициенты корреляции между величинами альbedo и ТПО достигали 0,85-0,90, а между величинами ПСР и ТПО достигали от -0,86 до -0,91. Наибольшие взаимосвязи обнаружены для регионов Nino 4, Nino 3.4 и Nino 1+2.