

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
(ФГБУ «ДВНИГМИ»)**

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

АМ.2024.01

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ПОГОДНЫЕ
УСЛОВИЯ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ЯВЛЕНИЯ
ЭЛЬ-НИНЬО-ЮЖНОЕ КОЛЕБАНИЕ**

Владивосток-2024

РЕФЕРАТ

Обзор выполнен на основе опубликованных данных об явлении Эль-Ниньо-Южное колебание и связанных с этим явлением изменениях в системе атмосферной и морской циркуляции. Приведены сведения о механизме образования, подходы к объективному определению событий, календари явлений. Выделены особенности атмосферных и гидрологических процессов на Дальнем Востоке и прилегающих акваториях Тихого океана, сопутствующие событиям Эль-Ниньо-Южное колебание и в последующий период. Сделаны некоторые заключения о погодных условиях на территории ДВФО в указанные периоды.

АВТОРЫ:

В. В. Крохин,
вед. науч. сотр. ФГБУ «ДВНИГМИ»,
канд. техн. наук

Научный руководитель проекта,
разделы 1.2–1.3, 2.3

Ю.Н. Волков,
науч. руководитель ФГБУ
ДВНИГМИ»,
канд. физ.-мат. наук

разделы 1.1–1.2, 2.3

Н.В. Глубоков,
м. науч. сотр. ФГБУ «ДВНИГМИ»

разделы 1.3, 2.1–2.4

Л. И. Мезенцева,
ст. науч. сотр. ФГБУ «ДВНИГМИ»,
канд. геогр. наук, доцент

разделы 2.1–2.4, Заключение

Дата составления: 06.2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Глобальные механизмы и физика явления Эль-Ниньо	7
1.1 Глобальные механизмы и физика явления Эль-Ниньо	7
1.2 Вопросы определения и календарь событий Эль-Ниньо	12
1.3 Интернет-ресурсы по мониторингу и прогнозу событий Эль-Ниньо	18
2 Особенности региональной атмосферной и морской циркуляции по ДФО, ДВ-морям и СЗТО, связанные с явлением Эль-Ниньо	19
2.1 Особенности региональной атмосферной циркуляции, связанные с событиями Эль-Ниньо	19
2.2 Особенности региональной морской циркуляции, связанные с событиями ЭНЮК 20	
2.3 Тропический циклогенез в СЗТО, связанная с Эль-Ниньо	22
2.4 Влияние Эль-Ниньо на погодные условия в регионе	29
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	34
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	36

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АД	алеутская депрессия
ГМ	тихоокеанский субтропический гонолульский максимум
ДВ	Дальний Восток
ДИО	диполя Индийского океана
ДФО	Дальневосточный федеральный округ
ИПФ РАН	Институт прикладной физики РАН
СЗТО	северо-западная часть Тихого океана
ТЦ	тропический(ие) циклон(ы)
ТП	температура поверхности
ТПО	температура поверхности океана
ЭН	Эль-Ниньо
ЛН	Ла-Нинья
ФГБУ «ДВНИГМИ»	Федеральное государственное бюджетное учреждение «Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт»
ЦДА	центр действия атмосферы
ЭНЮК	Эль-Ниньо – Южное колебание
ЮК	Южного колебания
ЮТА	южно-тихоокеанский антициклон
NCER/NCAR	National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research – Национальный центр прогнозов состояния окружающей среды/ Национальный центр атмосферных исследований, США
SOI	Southern Oscillation Index (индекс Южного колебания)

ВВЕДЕНИЕ

Погодные аномалии, сопровождающиеся стихийными бедствиями и охватывающие обширные территории, часто связывают с явлением Эль-Ниньо - Южное колебание. Это сложное явление, сопровождающееся определенной последовательностью атмосферных и океанических процессов, развивается преимущественно в экваториальных и тропических районах Тихого океана. Основное его проявление заключается в нагнетании очень тёплых вод у тихоокеанских берегов Южной Америки. Особенностью явления Эль-Ниньо является то, что, возникая как региональное, в ходе своего развития оно превращается в один из главных источников межгодовой изменчивости глобальной системы океан-атмосфера, его влияние распространяется, в том числе, и на процессы умеренных широт [Реснянский Ю.Д. и др., 2024]. Это обстоятельство определяет актуальность исследований данного явления с точки зрения его влияния на погодные условия Дальнего Востока России.

Целью настоящей работы является обзор научных источников, в которых исследуются явление Эль-Ниньо - Южное колебание, и связанные с ним тенденции в системе атмосферной и морской циркуляции и погодных условий в ДФО и прилегающих морских акваториях.

1 Глобальные механизмы и физика явления Эль-Ниньо

Из истории наблюдений известно, что каждые несколько лет в экваториальной части Тихого океана область аномально нагретых приповерхностных вод смещается к востоку в направлении побережий южного Эквадора и Перу, где формируются значительные положительные аномалии температуры поверхности океана (ТПО) в его центральной и восточной экваториальной частях. Это явление было названо Эль-Ниньо (исп. *El Niño* — «малыш, мальчик, младенца Христа»), так как оно обычно наиболее заметно в дни католического Рождества.

Итак, под событием Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК) понимают изменения полей приземного давления, осадков, ветра, температуры воды, имеющих противоположные знаки аномалий в экваториальной зоне Тихого океана. Во время Эль-Ниньо происходит потепление вод в экваториальной части Тихого океана, похолодание вод в этом районе называют Ла-Нинья (исп. *La Niña* — «малышка, девочка»).

Периодичность Эль-Ниньо может варьироваться от 2 до 7 лет, при этом сила и продолжительность этого явления могут значительно изменяться [Trenberth K., 1976].

Изменения в температурном режиме экваториальных вод сопровождаются аномалиями в атмосферной циркуляции, а именно, имеет место ослабление или полное прекращение пассатов, ослабевает южно-тихоокеанский антициклон (ЮТА) и, как следствие, ослабевает или даже меняет своё направление ветер вдоль экватора.

1.1 Глобальные механизмы и физика явления Эль-Ниньо

Физический механизм, объясняющий событие ЭНЮК, предложили Бьеркнес и Виртке [Bjerknes J., 1969, 1966; Wyrtk R.i, 1975]. Они высказали гипотезу о прямых и обратных связях в системе океан-атмосфера.

Рассмотрим механизм явления ЭНЮК (рис.1.1–1.2). С положительной фазы Ла-Нинья происходит усиление ЮТА, что проявляется в увеличении индекса Южного колебания (ИЮК, англ. Southern Oscillation Index, SOI), усилении юго-восточных пассатов и увеличении адвекции холодных антарктических вод с юга вдоль берегов Южной Америки с выходом холодных вод в экваториальную зону. По мере того как холодные воды распространяются к западу вдоль экватора, область воды с температурой 28°C уменьшается и сохраняется только над районами Индонезии и Северной Австралии. Вследствие этого, имеет место ослабление активной конвекции над западным районом Тихого океана и уменьшается интенсивность циркуляции ячейки Гадлея по сравнению с началом положительной фазы ЭНЮК. В это время начинает разрушаться субтропическая полоса повышенного давления, что приводит к ослаблению ЮТА.

Вследствие сезонного хода минимум давления в ЮТА приходится на апрель-май. И когда в этот период уменьшается и интенсивность циркуляции ячейки Гадлея, подпитывающей интенсивность ЮТА, наступает отрицательная фаза ЭНЮК. Происходит ослабление пассатных ветров, ослабевает адвекция холодных вод вдоль Южной Америки и в восточной экваториальной зоне.

Большинство случаев событий Эль-Ниньо начинается в начале года, что совпадает с минимумом давления в центре ЮТА.

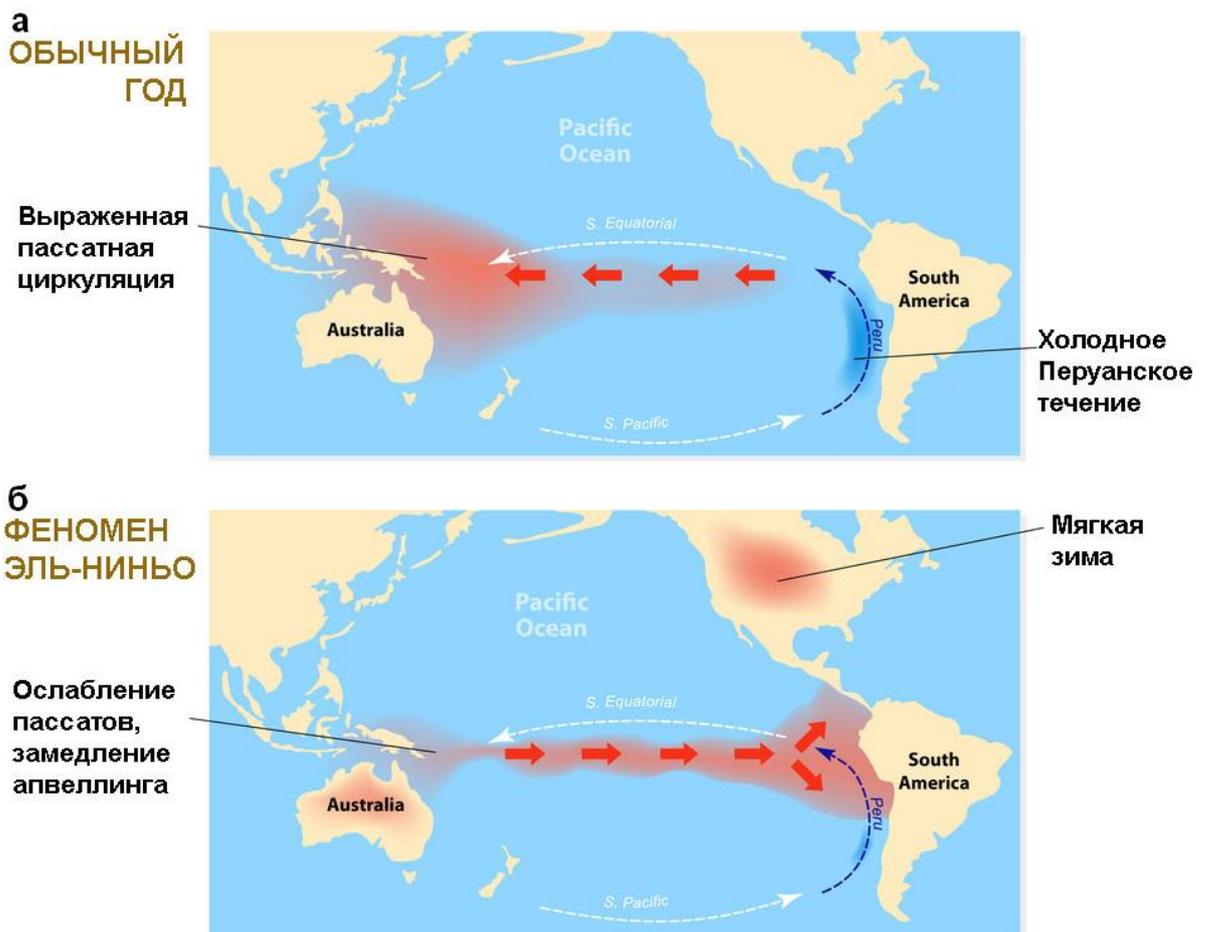


Рис. 1.1 – Принципиальная схема горизонтальной атмосферной и океанической циркуляции по экваториальной части Тихого океана в обычный год (а), и в год явления Эль-Ниньо (б)

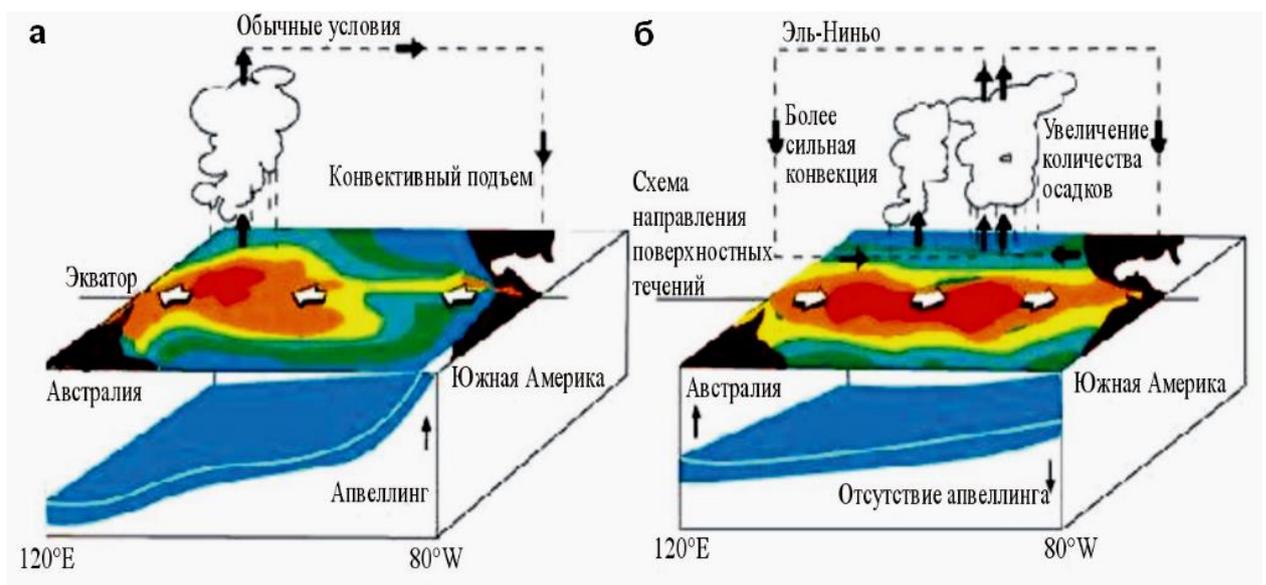


Рис. 1.2 – Условия атмосферной конвекции и океанических течений у поверхности и на глубине по экваториальной части Тихого океана в обычный год (а), и в год явления Эль-Ниньо (б)

При ослаблении юго-восточных пассатов нарушается баланс между напряжением трения ветра и градиентом уровня моря вдоль экваториальной зоны, что приводит к перемещению тёплых вод с запада на восток волнами Кельвина. Через один-два месяца в результате адвекции тёплых вод с запада на восток появляются положительные аномалии ТПО в центре и на востоке экваториальной зоны Тихого океана, т.е. начинается Эль-Ниньо. Зона активной конвекции распространяется к востоку и занимает большую часть экваториальной области Тихого океана. Следовательно, перенос энергии в тропосферу умеренных широт в годы Эль-Ниньо увеличивается через ячейку Гадлея. Это приводит к контрасту на границе субтропических и умеренных широт и к увеличению циклонов и антициклонов [Волков Ю.Н. и др., 1993]. Увеличение количества антициклонов в субтропической зоне со временем приводит к усилению ЮТА и завершает развитие цикла Эль-Ниньо. Приведённая схема развития ЭНЮК не учитывает многих особенностей этого явления.

Одной из ключевых проблем, возникающих при изучении и прогнозировании явлений Эль-Ниньо, является их непохожесть друг на друга [Осипов А.М., Гущина Д.Ю., 2018; Yuan Y., Yang S., 2012]. Долгое время считалось, что при Эль-Ниньо аномалии ТПО сосредоточены на востоке тропического Тихого океана у побережья Южной Америки [Rasmusson E.M., Carpenter T.H., 1982]. Однако позднее было показано, что в ряде случаев максимум положительной аномалии ТПО отмечается в центральной части Тихого океана [Ashok K. et al., 2007; Kao H.Y., Yu J.Y., 2009; Kug J.S. et al., 2009].

В настоящее время, классический (или канонический) тип Эль-Ниньо с максимальной аномалией ТПО в экваториально-восточной части Тихого океана называют Восточным типом (ВТ). При наблюдении максимальной аномалии ТПО в центральной экваториальной части Тихого океана событие Эль-Ниньо относится к Центральному типу (ЦТ).

Важность изучения двух типов Эль-Ниньо заключается в том, что для каждого из них характерна своя схема удаленного отклика возникающих как следствие Эль-Ниньо аномалий режима погоды, в первую очередь приземной температуры воздуха и атмосферных осадков, в различных районах земного шара (рис.1.3) [Железнова И.В., 2015].

Таким образом, на настоящий момент актуальной является проблема не просто прогнозирования Эль-Ниньо, а определения типа развивающегося явления. Для решения этой задачи необходимо понимание особенностей механизма формирования каждого из типов Эль-Ниньо.

Интенсивность Эль-Ниньо, ЦТ и ВТ Эль-Ниньо зависит от изменений ЮТА и процессов в субтропических широтах. В свою очередь положительные аномалии ТПО, их величина и расположение в экваториальной зоне Тихого океана влияют на интенсивность выноса энергии через ячейку Гадлея и на центры действия атмосферы. В первую очередь, на ЮТА. Прямые и обратные связи при взаимодействии атмосферы и океана необходимо рассматривать с учётом сезонного изменения атмосферной циркуляции.

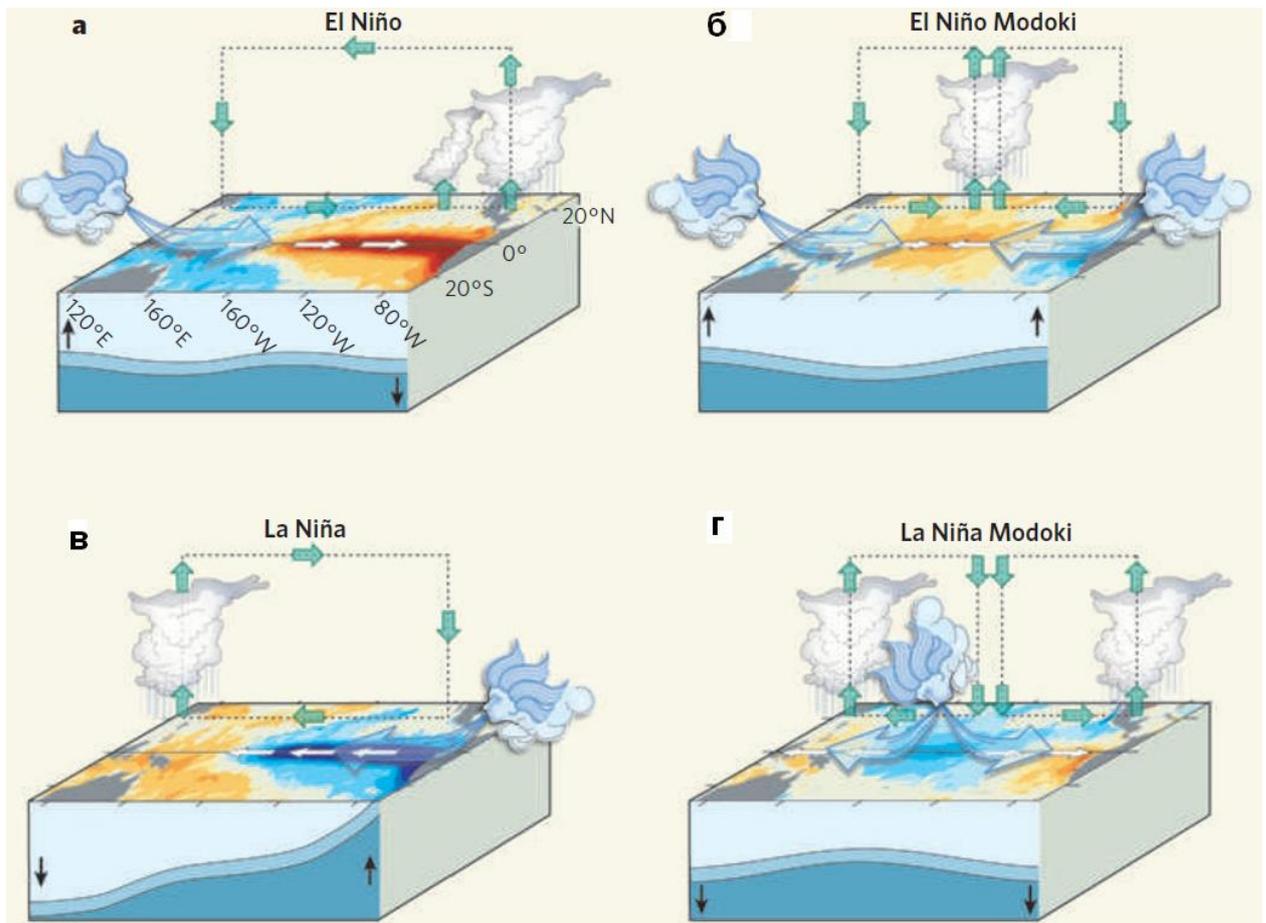


Рис. 1.3 – Аномальные атмосферные условия экваториальной части Тихого океана для различных типов Эль-Ниньо / Ла-Нинья [Ashok К.Т., Yamagata, 2009]: (а) Каноническое Эль-Ниньо (каноническое, ВТ); (б) Эль-Ниньо Модоки (ЦТ); (в) Каноническая Ла-Нинья; (г) Ла-Нинья Модоки

Во время ЭНЮК происходят изменения в циркуляции ячейки Уокера в плоскости экватора. Во время Эль-Ниньо аномальные потоки тепла от нагретого Тихого океана возбуждают глобальный отклик в тропической атмосфере и изменения интенсивности и расположения ячеек Уокера [Вязилова Н.А., 2006; Железнова И.В., Гущина Д.Ю., 2017].

При разных типах Эль-Ниньо выявляются различия в ячейках Уокера и Гадлея, что обусловлено изменениями локализации источников тепла в океане. При событиях ЭНЮК происходят изменения в пространственных расположениях источников тепла, аномалий ТПО и очагов конвекции в экваториальной зоне Тихого и Индийского океанов, что определяет интенсивность ячеек Уокера и Гадлея (рис 1.4). Также различное время начала Эль-Ниньо и Ла-Нинья и различная длительность этих событий по-разному сказываются на атмосферной циркуляции в тропической зоне и средних широтах северного и южного полушарий.

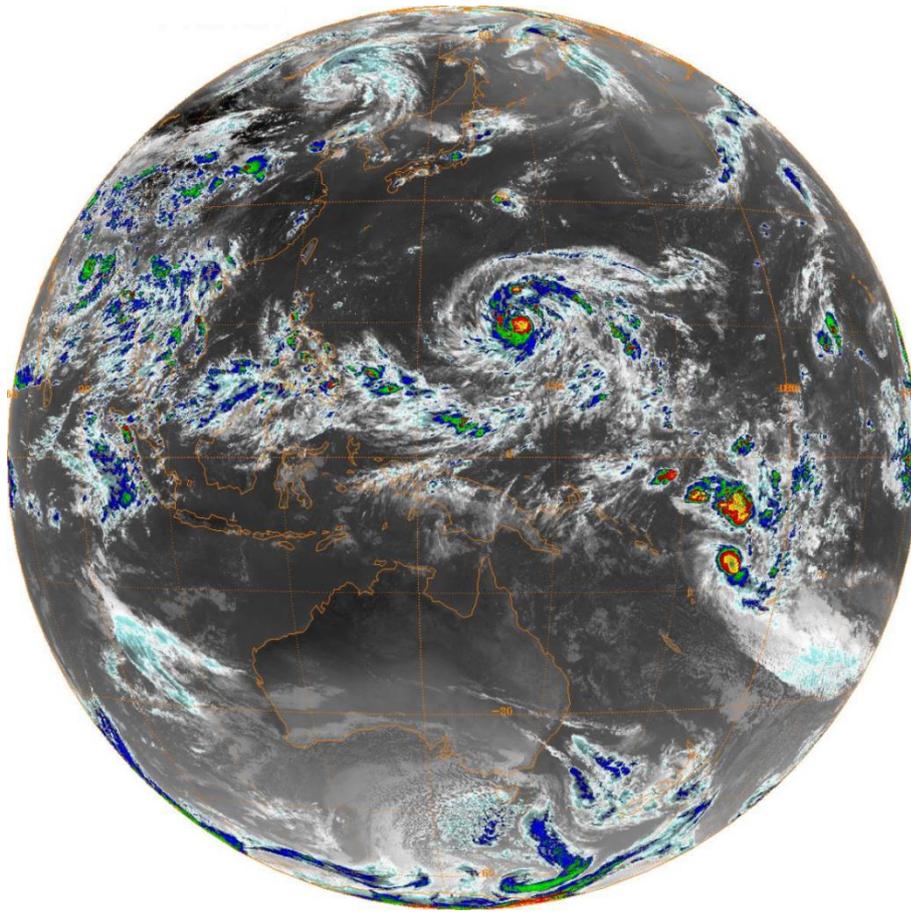


Рис. 1.4 – Типичное положение ВЗК над Тихим океаном в период сильного Эль-Ниньо (пример за 09 ВСВ 2 августа 2015 г.)

Композиционный и корреляционный анализ [Железнова И.В., Гущина Д.Ю., 2015] позволил определить структуру взаимного отклика аномалий циркуляции зонального ветра и аномалий ТПО, соответствующих двум типам Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Показано, что сигнал, поступающий в атмосферу от источника тепла в океане, распространяется из тропиков в умеренные широты симметрично относительно экватора в годы канонического явления ВТ Эль-Ниньо и асимметрично в годы ЦТ Эль-Ниньо (Модоки), для которого характерно распространение сигнала в Северном полушарии только в пределах тропических и субтропических широт. Абсолютные значения аномалий, так же как и теснота корреляции, оказываются больше для ЦТ Эль-Ниньо, что возможно определяется большей чувствительностью атмосферы к воздействию со стороны океана в районах локализации аномалий ТПО, характерных для этого типа ЭНЮК.

В работе [Ху К.-М., Emanuel К., 1989] делается вывод о том, что если ЭНЮК является неким механизмом переноса тепла между тропиками и полюсами, то можно предположить, что ЭНЮК должно играть важную роль в стабилизации среднего по времени состояния тропической системы Тихого океана и атмосферы.

Явление Эль-Ниньо является весьма устойчивым как во времени современной эпохи, так и в предшествующие геологические периоды. Так, в работе [Solow A.R., 1995] исследована частота явлений Эль-Ниньо за период 1525–1987 гг. Показано, что кажущееся увеличение частоты явлений Эль-Ниньо вызвано общим увеличением полноты исторических записей. Анализ событий для поздней части периода (1803-1987 гг.) и только для сильных событий Эль-Ниньо не выявил существенных изменений в частоте явлений Эль-Ниньо. В работе [Gagan М.К., 2009] представлен большой обзор работ изучения Эль-Ниньо с точки зрения палеоклиматологии. Отмечено, что протекание Эль-

Ниньо испытывало значительную изменчивость ($\pm 60\%$ от современной амплитуды) ещё со времени раннего Голоцена.

Многие важные особенности ЭНЮК нашли подтверждение по экспериментальным данным и в модельных расчётах, однако полного представления о механизме этого явления пока нет. Физические механизмы возникновения явления Эль-Ниньо до конца не исследованы. Нет чёткого понимания о причинах перехода от одной фазы ЭНЮК к другой.

Поэтому, несомненно, одним из важных направлений в исследовании этого явления является создание моделей возникновения Эль-Ниньо.

1.2 Вопросы определения и календарь событий Эль-Ниньо

Главные события, связанные с Эль-Ниньо, происходят в тропической части Тихого океана. Научное сообщество сходится на том, что Эль-Ниньо – это комплексное явление, проявляющееся как в атмосфере, так и в океане. По этой причине, существует ряд подходов (классификаций) явления Эль-Ниньо по силе проявления в каком-либо параметре среды (атмосфера, океан).

К настоящему времени опубликовано множество различных каталогов с годами Эль-Ниньо, которые часто расходятся между собой. Во всех каталогах могут различаться годы экстремумов Эль-Ниньо, а также длительность явления. Кроме основного экстремума аномалии ТПО существует множество вторичных, которые, в некоторых случаях, различными исследователями принимаются за основной процесс Эль-Ниньо.

Южное колебание является атмосферным компонентом Эль-Ниньо и представляет собой изменения давления воздуха в приземном слое атмосферы между водами восточной и западной частей Тихого океана. В южном полушарии существуют два района с большой отрицательной связью в поле приземного давления. Эти два района находятся на границах ячейки Гадлея, через которую осуществляется перенос энергии из экваториальных широт в субтропические. При этом Индонезия и север Австралии находятся в области восходящей ветви ячейки Гадлея, а юго-восток Тихого океана – в области нисходящей ветви.

Величину колебания принято измерять с помощью индекса Южного колебания (ИЮК), определяющего интенсивность ветров на экваторе. Индекс определяется как разность давления между островом Таити и портом Дарвин (Австралия) [Climate Glossary, 2002]. Этот индекс характеризует силу юго-восточных пассатов над экваториальной зоной. Поскольку пассаты на экваторе зависят от интенсивности южного тихоокеанского антициклона (ЮТА), то изменения давления в этом центре действия атмосферы и определяют события ЭНЮК. Этот индекс имеет высокую корреляцию с интенсивностью ЮТА, северная ветвь которого и является пассатными ветрами вдоль экватора. Эль-Ниньо отмечается, когда индекс принимает отрицательные значения, что означает минимальную разницу давлений на метеостанциях Таити и Дарвин.

Классификация Эль-Ниньо и Ла-Нинья по ИЮК приводилась в работе [Сидоренков, 1991]. ИЮК рассчитывался с 1935 по 1990 гг. по следующему алгоритму:

$$\delta_{gm} = \left[\frac{P_{gm} - \bar{P}_m}{\varepsilon} \right]_{Ta} - \left[\frac{P_{gm} - \bar{P}_m}{\varepsilon} \right]_{Da},$$

где δ_{gm} – ряд разностей нормализованных аномалий давления между станциями Таити и Дарвин,

P_{gm} – фактическое давление,

\bar{P}_m – среднее многолетнее значение давления,

ε - стандартное отклонение по всем значениям за период 1951–1980 гг.,

g и m - год и месяц соответственно.

Нормы \bar{P}_m вычислялись по среднемесячным данным за период 1951–1980 гг.

После этого вычислялся ИЮК как

$$SOI = \frac{\delta_{gm}}{\sigma},$$

где σ – стандартное отклонение всех разностей δ_{gm} за период 1951–1980 гг.

Положительные значения ИЮК соответствуют Ла-Нинья, отрицательные значения – Эль-Ниньо.

Ослабевание пассатных ветров на экваторе вызывает изменение течений и, вследствие адвекции теплых вод с запада на восток, происходит повышение температуры вод вплоть до берегов Америки. Поэтому явления ЭНЮК исследователи начали определять по наличию долговременных аномалий температуры воды в экваториальной зоне.

Научным комитетом по океаническим исследованиям (1983 г.) было дано следующее определение Эль-Ниньо в терминах аномалий ТПО: «Событие Эль-Ниньо – это появление аномально теплой воды вдоль побережья Эквадора и Перу вплоть до Лимы (12° ю.ш.), во время которого аномалия нормализованной температуры поверхности океана (ТПО), превышающая одно стандартное отклонение, происходит в течение как минимум четырех месяцев подряд на трех или более из пяти прибрежных станций (Талара, Пуэрто Малабриго, Чимботе, Остров Дон Мартин, Кальяо).

Существует, по меньшей мере, семь разновидностей индексов, основанных на использовании аномалий ТПО, по различным районам экваториальной части Тихого океана. При классификации явления ЭНЮК по температуре используют аномалию ТПО в районах:

Nino 1+2 (0 - 10° ю. ш., 90 - 80° з. д.),

Nino 3 (5° с. ш. - 5° ю. ш., 150° з. д. - 90° з. д.),

Nino 3.4 (5° с. ш. - 5° ю. ш., 170° з. д. - 120° з. д.),

Nino 4 (5° с. ш. - 5° ю. ш., 160° в. д. - 150° з. д.),

с различным временным осреднением по времени и временной продолжительности осреднения аномалии воды. Эти различия в выборе районов для классификации ЭНЮК возникают из-за желания исследователей выделить различные сценарии в появлении аномалии ТПО в экваториальной зоне.

Индекс ОИН (ONI) использует для классификации Эль-Ниньо и Ла-Нинья в восточной экваториальной части Тихого океана, а именно – это текущая средняя аномалия ТПО за 3 последовательных месяца для региона Nino 3.4. События определяются как 5 последовательных перекрывающихся 3-х месячных периодов с аномалиями ≥ 0.5 °C для Эль-Ниньо и с аномалиями ≤ -0.5 °C для Ла-Нинья. Также выделяются слабые, умеренные, сильные и очень сильные события. Эта классификация наиболее полная и, главное, оперативно пополняется, поэтому удобная для использования в работе.

В настоящее время в NCEP-NCAR США оперативно рассчитываются как океанический индекс ОИН, так другие индексы ЭНЮК [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php; <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>].

Классификация ЭНЮК, в общем случае, осложняется рассинхронизацией между Южным Колебанием (ЮК) и аномалиями ТПО (до нескольких месяцев) [Сидоренков Н.С., 1991]. При этом между ними имеется отрицательная корреляция: чем больше ЮК, тем ниже температура, и чем больше по модулю отрицательное значение ЮК, тем выше температура. Положительные аномалии температуры сохраняются дольше, чем отрицательные значения индекса ЮК. Во время развития Эль-Ниньо уменьшение ЮК начинается одновременно с появлением положительной аномалии температуры в восточной части Тихого океана. С другой стороны увеличение индекса ЮК после минимума начинается на 3-4 месяца раньше, чем падение температуры. Температура в экваториальной зоне Атлантического океана изменяется независимо от аномалий в Тихом океане, а колебания температуры в западной части экваториальной зоны Индийского океана и в восточной части Тихого океана коррелируют.

В качестве примера классификации ЭНЮК по аномалии ТПО можно привести результаты работы [Петросянц М.А., Гущина Д.Ю., 2002]. За начало Эль-Ниньо авторы считали месяц, когда аномалия ТПО в Nino 3 достигла $\geq 0.5^{\circ}\text{C}$, а за начало Ла-Нинья – месяц, когда аномалия ТПО $\leq -0.5^{\circ}\text{C}$, причём величина аномалии ТПО $\geq 0.5^{\circ}$ сохраняется после указанного месяца не менее трёх месяцев подряд. В работе [Петросянц М.А., Гущина Д.Ю., 2002] приводится таблица, в которой указаны: начало (месяц, год), конец (месяц, год), продолжительность (месяц) и среднее значение аномалии ТПО для явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья с 1948 по 1997 гг. В работе [Вязилова Н.А., 2006] по таким же критериям определялись явления ЭНЮК с 1950 по 2000 гг.

В работе [Воскресенская Е.Н. и др., 2015] определены типы событий Эль-Ниньо с 1951 по 2010 гг. Выделение и классификация различных типов Эль-Ниньо – ВТ и ЦТ производились по аномалии ТПО в районах Nino 3, Nino 3.4, и Nino 4. Одним из вариантов определения типов Эль-Ниньо являются соотношения, когда аномалия ТПО в Nino 3 зимой больше аномалии ТПО Nino 4 зимой (это ВТ), и ЦТ, когда аномалия ТПО Nino 3 зимой меньше аномалии ТПО Nino 4 зимой. Используются и другие критерии, которые позволяют определить ЦТ и ВТ распространения аномалии ТПО в экваториальной части Тихого океана.

В работе [Гущина Д.Ю. и др., 2020] также определялись типы событий Эль-Ниньо. В основном классификация совпадает с типами событий, определёнными в работе [Воскресенская Е.Н. и др., 2015], хотя несколько событий авторы определили по-разному.

В таблице 1 приведены параметры Эль-Ниньо и Ла-Нинья, а именно: начало и конец явления, продолжительность, интенсивность. Эта классификация определялась по критериям NCEP. В колонке Продолжительность события также указывается тип события – ЦТ или ВТ, определённый в работе [Воскресенская Е.Н. и др., 2015]. Из категории сильных и очень сильных Эль-Ниньо из 9 случаев 7 – ВТ и из 9 случаев – 6 случаев Эль-Ниньо начинается весной, в марте-апреле. Средняя продолжительность сильных и очень сильных Эль-Ниньо – 14 месяцев. Средние и слабые Эль-Ниньо начинаются осенью, в августе-октябре (7 случаев из 12), из 12 случаев слабых и средних Эль-Ниньо – 9 случаев ЦТ, два случая не определены, средняя продолжительность этих Эль-Ниньо – 7 месяцев.

Из истории наблюдений известно, что Эль-Ниньо и Ла-Нинья представляют собой явления разные по интенсивности, продолжительности и локализации аномалий ТПО в экваториальной зоне Тихого океана (Табл.1), поэтому их влияние на атмосферную циркуляцию в тропической зоне и в средних широтах Земли будет различным.

Несмотря на достаточный интерес исследователей к явлению Эль-Ниньо, множество вопросов, связанных с физическими механизмами его формирования и удаленными откликами на него, остаются неизученными. Всё это создает значительные неопределенности и затрудняет исследование данного явления и его взаимосвязи с климатом других регионов нашей планеты.

Таблица 1 - Годы Эль-Ниньо и Ла-Нинья, их продолжительность и интенсивность

№	Эль-Ниньо					Ла-Нинья				
	Годы	Начало	Конец	Продолжительность / Тип*	Интенсивность**	Годы	Начало	Конец	Продолжительность	Интенсивность***
1	1951-1951	Май	Декабрь	8 / ЦТ	Среднее (1.2)	1949-1950	Декабрь	Июнь	7	Среднее (-1.5)
2	1953-1954	Январь	Январь	13/ЦТ	Слабое (0.8)	1954-1956	Апрель	Август	29	Сильное (-1.7)
3	1957-1958	Март	Июнь	16 / ВТ	Сильное (1.8)	1964	Апрель	Декабрь	9	Слабое (-0.8)
4	1958-1959	Октябрь	Февраль	5/ЦТ	Слабое (0.6)	1970-1971	Июнь	Декабрь	19	Среднее (-1.4)
5	1963-1964	Май	Январь	9 / ЦТ	Среднее (1.4)	1973-1974	Апрель	Июнь	15	Сильное (-2.0)
6	1965-1966	Апрель	Март	12/ВТ	Сильное (2.0)	1974-1976	Сентябрь	Март	19	Сильное (-1.7)
7	1968-1969	Сентябрь	Апрель	8 / ВТ	Среднее (1.1)	1983	Август	Декабрь	5	Слабое (-1.0)
8	1969	Июль	Декабрь	6 / ВТ	Слабое (0.9)	1984-1985	Сентябрь	Июль	11	Среднее (-1.1)
9	1972-1973	Апрель	Февраль	11 / ВТ	Очень сильное (2.1)	1988-1989	Апрель	Апрель	13	Сильное (-1.8)
10	1976-1977	Август	Январь	6 / ЦТ	Слабое (0.9)	1995-1996	Июль	Февраль	8	Слабое (-1.0)
11	1977	Август	Декабрь	5 / ЦТ	Слабое (0.8)	1998-2001	Июнь	Январь	32	Сильное (-1.7)
12	1979-1980	Сентябрь	Январь	5 / ЦТ	Слабое (0.6)	2005-2006	Октябрь	Февраль	5	Слабое (-0.9)
13	1982-1983	Март	Май	15 / ВТ	Очень сильное (2.2)	2007-2008	Май	Май	13	Сильное (-1.6)
14	1986-1988	Август	Январь	18 / ЦТ	Сильное (1.7)	2008-2009	Октябрь	Февраль	5	Слабое (-0.8)
15	1991-1992	Апрель	Май	14 / ВТ	Сильное (1.7)	2010-2011	Май	Апрель	12	Сильное (-1.6)
16	1994-1995	Август	Февраль	7 / ЦТ	Среднее (1.1)	2011-2012	Июнь	Март	10	Среднее (-1.1)
17	1997-1998	Апрель	Апрель	13 / ВТ	Очень сильное (2.4)	2016	Июль	Ноябрь	5	Слабое (-0.7)
18	2002-2003	Май	Январь	9 / ЦТ	Среднее (1.3)	2017-2018	Сентябрь	Март	7	Слабое (-1.0)
19	2004-2005	Июнь	Январь	8/ЦТ	Слабое (0.7)	2020-2021	Июль	Апрель	10	Среднее (-1.3)
20	2006	Август	Декабрь	5 / ВТ	Слабое (0.9)	2021-2022	Июль	Декабрь	18	Среднее (-1.1)
21	2009-2010	Июнь	Февраль	9 / ЦТ	Сильное (1.6)					

Продолжение таблицы 1

22	2014-2016	Сентябрь	Март	19/ЦТ	Очень сильное (2.6)					
23	2018-2019	Август	Май	10/ЦТ	Слабое (0.9)					
24	2023-	Апрель			~ 2.0					

Примечание: * тип Эль-Ниньо: ВТ – Восточный тип ЭН, ЦТ – Центральный тип ЭН;

**интенсивность события ЭН: 0.5–0.9 – слабое, 1.0–1.4 – среднее, 1.5-1.9 – сильное, $A \geq 2.0$ – очень сильное;

***интенсивность события ЛН: -0.5...-1.0 – слабое, -1.1...-1.5 – среднее, -1.6...-2.0 – сильное, $A \leq -2.0$ – очень сильное.

1.3 Интернет-ресурсы по мониторингу и прогнозу событий Эль-Ниньо

Прогнозом Эль-Ниньо в мире, по различным оценкам, занимаются более двадцати организаций, представленных как национальными метеорологическими службами, так и образовательно-академическими организациями. Как правило, прогноз Эль-Ниньо заключается в расчёте основных индексов ЭНЮК (Nino3.4, Nino3, Nino12 и др.) на период до 6 месяцев. Все нижеперечисленные интернет-ресурсы регулярно обновляются раз в месяц.

Результаты составляемого на регулярной основе прогноза термических аномалий в экваториальной зоне Тихого океана, связанных с событиями ЭНЮК, уже более 20 лет ежемесячно публикуются в бюллетене «Climate Diagnostic Bulletin» на сайте NCEP/NOAA (Национальный центр прогнозирования окружающей среды) США (https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/CDB/CDB_Archive_pdf/CDB.monthly_color.pdf).

Прогноз развития условий в районе ЭНЮК по данным ансамбля динамических и статистических моделей представлен на сайте Международного исследовательского института IRI (<https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>) при Колумбийском университете (США).

На сайте лаборатории моделирования климатических систем ИПФ РАН (Нижний Новгород) представлена модель для прогноза индексов Эль-Ниньо, по результатам работы выкладывается актуальный прогноз климатического индекса Nino 3.4 – одного из основных индикаторов Эль-Ниньо (<https://ipfran.ru/institute/structure/177079948>). В июле 2019 г. модель ИПФ РАН была включена в ансамбль ведущих моделей для прогноза Эль-Ниньо (модель названа «IAP-NN»), прогноз которых ежемесячно публикуется на сайте института Земли при Колумбийском университете (США).

Остальные организации, ведущие мониторинг и прогноз ЭНЮК, представлены странами азиатско-тихоокеанского региона:

1. Южно-корейский климатический центр (<https://www.apcc21.org/prediction/global/>).
2. Токийский региональный климатический центр (<https://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/outlook.html>)
3. Пекинский региональный климатический центр (<http://cmdp.ncc-cma.net/eng/index.php?channel=10>).

2 Особенности региональной атмосферной и морской циркуляции по ДФО, ДВ-морям и СЗТО, связанные с явлением Эль-Ниньо

2.1 Особенности региональной атмосферной циркуляции, связанные с событиями Эль-Ниньо

Процесс Южного колебания связан с перестройкой всех основных элементов атмосферной циркуляции, как в тропической зоне, так и внетропических широтах, как задолго накануне событий, так и в период и после их активной фазы. Это относится и к тихоокеанскому сектору Северного полушария [Kwon M. et al., 2005; Son H-Y, 2016; Wang B., Chan J.C.L., 2002; Wang B. et al., 2000, Yang S. et al., 2018].

Прежде всего, нарушения (отклонения от климатического состояния) свойственны положению и интенсивности тихоокеанского субтропического (гонолульского) максимума (ГМ) и алеутской депрессии (АД) [Bjerknes J., 1969; Филандер С. Дж., Расмуссон Е. М., 1988; Железнова И.В., Гущина Д. Ю., 2016], в меньшей мере – зимнему азиатскому антициклону. При этом в тропосфере доминируют определенные формы атмосферной циркуляции [Воробьева Е. В., 1989].

Исследования [Петросянц М.А., Гущина Д.Ю., 1998] показывают, что характер связанности форм атмосферной циркуляции с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана имеет ярко выраженный волновой характер с периодами до 48–56 месяцев, при этом меняется как интенсивность сигнала, так и знак. Например, влияние ТПО экваториальной части Тихого океана (определенная через индекс NIÑO 3.4) на последующую интенсивность зональной циркуляции в тропосфере на широте 50° с. ш. достигает своего пика через 10–20 месяцев, величина связи – -0,4...-0,5 (определенная через коэффициент корреляции). Следует заметить, что взаимная связанность атмосферной циркуляции в разных широтных зонах с температурой в экваториальной части Тихого океана в настоящее время уже является беспорной. Однако есть широтные зоны и районы, где эта связь отсутствует или незначима.

Интенсивность зональной циркуляции, связанная с явлением Эль-Ниньо, изучалась Е.В. Воробьевой [Воробьева Е. В., 1989]. Из её работ следует, что в годы Эль-Ниньо, предшествующие и последующие 2–3 года в тихоокеанском регионе в среднем за год наблюдается интенсификация зональных течений. Этот факт указывает на значительное межширотное термобарическое напряжение, которое сохраняется значительный период времени.

Множество исследований, относящихся к событиям ЭНЮК, и связанные с особенностями атмосферной циркуляции Северного полушария, обращены к изучению тихоокеанского субтропического максимума в годы Эль-Ниньо и смежные с явлением годы/периоды. Развитие событий ЭНЮК тесно связано с вариациями интенсивности и положения ГМ, который, в то же время, является звеном системы циркуляции атмосферы северного полушария, и в значительной степени отражает процесс Южного колебания [Bjerknes J., 1969; Волков Ю. Н., Калашников Б.М. и др., 1990, 1997]. Изменение характеристик ГМ оказывает непосредственное влияние и на погодные условия дальневосточных морей России. В большинстве случаев события Эль-Ниньо, особенно каноническое (восточного типа), сопровождаются ослаблением ГМ, что сочетается со смещением его центра к югу, юго-западу относительно климатического положения. Предшествующие события в атмосфере зачастую имеют обратный характер проявления. При этом, каждое явление Эль-Ниньо является эксклюзивным событием, и не сопровождается категорически строгой последовательностью атмосферных процессов и погодных явлений в том или ином районе Земли.

Явление Ла-Нинья наоборот, обычно ассоциируется с сильными тихоокеанскими пассатами, увеличением интенсивности меридиональной ячейки Гадлея, что является

следствием усиления субтропических антициклонов. Вероятность этих событий достигает 70–80 %.

Следует добавить, что фазы ЭНЮК влияют (/зависят) на формирование поля атмосферного давления к северу от тропической зоны Тихого океана, прежде всего, в западной его части. В случае зимнего Эль-Ниньо, в последующий летний сезон над Филиппинским морем и восточнее Японии часто формируются аномальные зоны повышенного атмосферного давления, а после зимнего Ла-Нинья у берегов Китая наблюдаются области пониженного давления [Huang R., Wu Y., 1989; Meehl G.A., 1987; Wang B., 2002]. В случае антициклонической циркуляции над западной частью океана, на территории Китая в районе рек Янцзы и Хуанхэ могут наблюдаться интенсивные осадки, приводящие к наводнениям.

Ряд исследований [Torrence C., Webster P.J., 1999; Покровский О.М., 2014, Штейнле О.А. и др. 2012] показывают, что активность азиатского муссона находится в тесной взаимосвязи с событиями Южного колебания. Они объясняют взаимодействие этих объектов через механизм диполя Индийского океана (ДИО). При положительной фазе ЭНЮК (Эль-Ниньо) наблюдается ослабление азиатского муссона (по крайней мере его летней фазы), при отрицательной фазе ЭНЮК (Ла-Нинья) происходит усиление муссона по всему пути его следования. Отрицательной фазе ЭНЮК соответствует отрицательная фаза ДИО [Yang et al., 2007].

На Дальнем Востоке в год зимнего развития явления Эль-Ниньо (классического), вероятно, следует ожидать некоторую деградацию летней муссонной деятельности в прибрежных районах региона, обусловленную повышенной зональностью в субтропических и тропических областях западной части Тихого океана.

На ослабление муссонной деятельности над Охотским морем в период развития Эль-Ниньо 1997–1998 гг. указывается в работе Глебовой С.Ю., Хена Г.В. (2002). Авторы выяснили, что в этот период слабым был и зимний муссон. В противовес этому в период Ла-Нинья 1999–2000 гг. обе стадии муссона находились в активной фазе на фоне аномального развития соответствующих центров действия атмосферы.

Что касается зимнего азиатского муссона, то его вариации лишь в небольшой части, не более 20% изменчивости, можно соотнести с событиями ЭНЮК. Напротив, остальная часть изменчивости зимнего муссона (около 80%) не подвержена эффектам Южного колебания [Ma T., Chen W., 2021, 2023, Chen Z. et al., 2015]. Кроме того, эффект взаимосвязи ЭНЮК и зимнего азиатского муссона не является стабильным, может нарушаться под воздействием ряда факторов, к которым можно отнести свойства событий самого Южного колебания, такие как его локализация и интенсивность. Внешние факторы, такие как междекадные вариации тихоокеанской осцилляции, аномалий ТПО в Тихом и Атлантическом океанах, также играют модулирующую роль в отношениях между событиями ЭНЮК и свойствами зимнего азиатского муссона. Есть мнение, что сила зимнего муссона в некоторых случаях важна как фоновое условие для начала событий Эль-Ниньо.

2.2 Особенности региональной морской циркуляции, связанные с событиями ЭНЮК

В данном разделе приведены некоторые особенности морской циркуляции только для Японского моря, влияние на которое событий ЭНЮК наиболее изучено, и наиболее очевидно.

Важнейшим объектом морской циркуляции Японского моря является Цусимское течение. Для него свойственны значительные вариации пространственного положения, интенсивности и других характеристик. После входа в Японское море оно разветвляется

на два или три течения, занимает внутреннюю область к югу от 40° с. ш., образуя в центральной части акватории термический полярный фронт. Положение последнего колеблется в зоне 19–21 °С летом и 5–10 °С зимой [Moriyasu S., 1972]. Например, летом 1981 г. положение полярного фронта было значительно южнее климатического положения, южнее 36° с. ш. В среднем сезонное положение полярного фронта находится вблизи 40° с. ш. В Японском море было зарегистрировано самое холодное лето десятилетия [Hong C.H. et al. 1984]. Таким образом, северное положение фронта может указывать на теплые сезоны в Японском море, а южное – на холодные.

После выхода из Цусимского пролива Цусимское течение разделяется на три части: Прибрежную ветвь Цусимского теплого течения, идущую вдоль западного побережья Японии, Восточно-Корейское теплое течение, идущее вдоль восточного побережья Кореи, и Морскую ветвь Цусимского течения [Talley L.D. et al., 2006]. Текущее на север Восточно-Корейское течение отделяется от побережья между 37° и 38° с. ш., образуя субполярную струю, следующую на восток через центральную часть Японского моря. Часть основной струи Восточно-Корейского течения отделяется, и течет на юг к котловине Уллын [Moore S.N.K. et al., 2005]. Таким образом, формируется антициклоническая циркуляция, которая доминирует над южной частью акватории в среднем состоянии верхних слоев моря в бассейне Уллын. Воды на глубине примерно 400 м до дна в бассейне Уллын однородны по плотности, с температурой ниже 1°С, с соленостью ниже 34,1 ‰ [Chang K-I et al. 2002].

Распределение температуры поверхности (ТП) Японского моря во все сезоны характеризуется высокой зональностью с локальными нарушениями, которые формирует Цусимское течение.

В периоды явления Ла-Нинья с августа по ноябрь приток воды через Корейский пролив усиливается, равно как и Восточно-Корейское теплое течение и Прибрежная ветвь Цусимского течения на юго-востоке моря. Усиление Восточно-Корейского течения вызывает аномалию морского течения вблизи 36° с. ш., ослабляя антициклоническую циркуляцию в бассейне Уллын, а усиление Прибрежной ветви Цусимского течения приводит к ослаблению Морской ветви Цусимского течения. Температура поверхности моря начинает повышаться от северо-восточного побережья Японии в августе. Положительные аномалии ТП распространяются на большую территорию юга Японского моря к октябрю-ноябрю. При этом положительные аномалии солености поверхности моря наблюдаются преимущественно вдоль южного и восточного побережья Кореи. При развитии событий Эль-Ниньо ситуация развивается обратным образом (рис. 2.1). Эти выводы сделаны в работе [Geun W.G., 2020] при исследовании особенностей летне/осенней циркуляции океана и Японского моря, обусловленных явлениями Эль-Ниньо-Южное колебание.

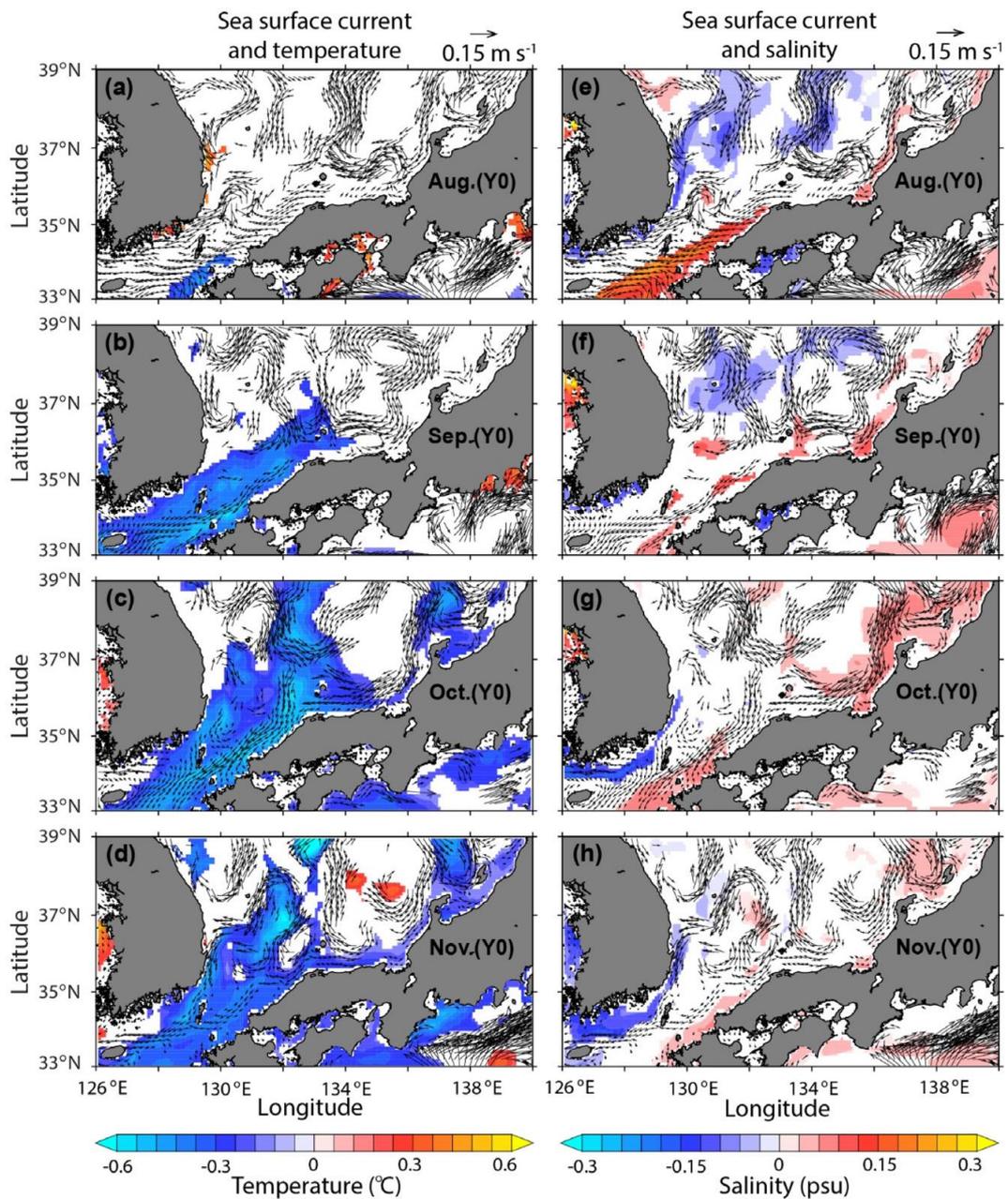


Рис. 2.1 - Поверхностные течения моря при Эль-Ниньо и аномалии температуры поверхности моря (a–d) и аномалии солёности (e–h) для август, сентябрь, октябрь и ноябрь. Все переменные, представленные в каждом композите, соответствуют уровню значимости 95%. Единица отсчетной стрелки – 0,15 м/с [Geun W.G., 2020]

2.3 Тропический циклогенез в СЗТО, связанная с Эль-Ниньо

Явление Эль-Ниньо находит отражение и в вариациях активности тайфунов – тропических циклонов (ТЦ) северо-западной части Тихого океана. Этот регион является одним из самых активных в мире по количеству ТЦ. Каждый год в СЗТО бывает в среднем около 27–28 ТЦ, достигающих стадии шторма (с ветрами ≥ 17 м/с) и выше; причем 16 из них достигают категории 1 (с ветрами ≥ 33 м/с) и 9 – категории 3 (с ветрами ≥ 50 м/с).

Тайфуны образуются над тёплой водой, когда температура поверхности океана достигает примерно 28 °C [Gray W.M., 1979]. В северо-западной части Тихого океана

тайфуны обычно формируются с мая по ноябрь, пик активности приходится на вторую половину лета – начало осени.

Влияние Эль-Ниньо на частоту зарождения и повторяемость тайфунов

Одним из первых исследований в этом направлении стала работа [Chan J., 1985]. С использованием спектрального анализа были проанализированы межгодовые вариации активности тропических циклонов в СЗТО и их взаимосвязь с явлением Эль-Ниньо-Южное колебание. Исследовалась активность тропических циклонов во всем бассейне СЗТО и отдельных его зонах. Был определен пик спектральной плотности явления ЭН (через индекс SOI) с периодом от ~3 до 3,5 лет, второй пик близок к частоте квази двухлетних колебаний. Кросс-спектральный анализ указывает на значительную когерентность между явлениями ЭНЮК и тропическим циклогенезом. Аналогичные выводы получены в более поздних работах. Доминирующий пик межгодовой повторяемости тайфунов [Крохин В.В. и др., 2017], как и ураганов в Атлантике [Elsner J.V. et al., 1999], приходится на частоту Южного колебания.

Изменчивость циклонической активности в тропиках на доминирующей частоте Южного колебания может быть объяснена через механизм горизонтальных и вертикальных атмосферных циркуляций и смещении областей усиленной или подавленной конвекции [Chan J., 1985; Пудов В.Д., Петриченко С.А., 1998]. В период, когда теплосодержание верхнего слоя СЗТО достигает высоких (критических) значений, происходит интенсивный вынос термической энергии в атмосферу посредством большого количества ТЦ. Последние активно усиливаются до стадии штормов и тайфунов. При этом, тропический циклогенез достаточно активен в течение всего года. Одновременно начинает работать и механизм формирования Эль-Ниньо, и в конце этого года явление проявляется на востоке океана. В годы окончания Эль-Ниньо интенсивность тропического циклогенеза существенно снижается, и носит выраженный сезонный характер, как следствие, количество дней со штормами и тропическими циклонами резко сокращается.

В свою очередь, активность ТЦ на юго-востоке СЗТО влияет на явление ЭН (определенное через индекс Ниньо-3.4) с задержкой 3 месяца. Повышенная активность ТЦ в июле–сентябре через механизм ослабления циркуляции Уокера может в значительной степени способствовать усилению ЭН в октябре–декабре. Механизмы горизонтальных и вертикальных атмосферных циркуляций между областью низкого давления в юго-восточном квадранте СЗТО и областью повышенного давления в северо-западном квадранте СЗТО были воспроизведены в работах [Wu G., 1992; Wu G., Lau N.; 1992; Wang B. et al., 2000; Wang B., Chan J.C.L., 2002; Liu J. et al., 2023], где влияние Эль-Ниньо на формирование ТЦ в Тихом океане изучалось с использованием моделей общей циркуляции атмосферы.

В общем случае, активность тайфунов в СЗТО сильнее всего меняется в периоды с экстремально большим (по модулю) индексом ЮК [Nicholls N., 1992]. В годы начала Эль-Ниньо число тайфунов в СЗТО в среднем бывает больше на 52% [Lander M., 1994]. В годы окончания Эль-Ниньо число тайфунов уменьшается [Пудов В.Д., Петриченко С.А., 1998; Pudov V.D., Petrichenko S.A., 2001].

Особенности локализации зарождения и траекторий

На локализацию очагов зарождения ТЦ в северо-западной части Тихого океана влияют фаза цикла и тип ЭНЮК, что определяется зональным смещением областей аномально теплых вод между восточной и центральной экваториальными частями Тихого океана [Ha K.J. et al., 2012]. В годы начала (окончания) Эль-Ниньо акватория зарождения ТЦ расширяется на восток (смещается на запад) [Пудов В.Д., Петриченко С.А., 1998; Pudov V.D., Petrichenko S.A., 2001].

Зависимость мест зарождения ТЦ от типа ЭН обсуждается в работах [Kim H.-M. et al., 2011; Ha K.J. et al., 2012; Song J. et al., 2024]. Получено, что при центральном типе Эль-Ниньо, когда максимальное значение ТПО наблюдается в центральной экваториальной части Тихого океана, район зарождения ТЦ концентрируется над юго-восточной частью СЗТО. Имеет место тенденция большего распространения очага зарождения в западном и северо-западном направлении относительно их традиционного места зарождения. Это справедливо для лет непосредственного развития ЭН.

В работах [Lander M., 1994; Chan J.C.L., 2000; Wang B., Chan J.C.L., 2002; Wang C. et al., 2013] было показано, что среднее местоположение тропического циклогенеза в годы Эль-Ниньо находится восточнее и немного южнее, а средняя траектория тайфунов длиннее. Что касается региона генезиса ТЦ, то обнаруживается связь между индексами ЮК и зональным смещением среднегодовых мест генезиса тайфунов. При этом, в течение первой половины календарного года индексы ЮК слабо предсказывают количество и места зарождения тропических циклонов.

В годы с Эль-Ниньо, ТЦ, сформировавшись в юго-восточном квадранте СЗТО, двигаются сначала в северо-западном направлении, затем поворачивают на Японские острова [Chan J.C.L., 2000; Elsner J., Liu K., 2003; Wu M.C. et al., 2004]. Количество тайфунов, имеющих прямолинейные треки, и выходящих на Китай, значимо коррелирует с циклами ЭН. Во время явления Эль-Ниньо тайфуны имеют тенденцию поворота к северу, не выходя на материковый Китай. В противоположные годы, с развитием Ла-Нинья, ТЦ имеют тенденцию перемещения в западном направлении, в направлении Южно-Китайского моря, увеличивая вероятность выхода на Китай. При этом, среднегодовое число ТЦ в Южно-Китайском море бывает меньше нормы в год ЭН, и выше нормы в год с ЛН. Значимые аномалии активности ТЦ в Южно-Китайском море имеют место, главным образом, в период с июля по ноябрь, и начинаются вслед за появлением аномалии температуры поверхности экваториальной части СЗТО [Li C., 1988; Wu M.C. et al., 2004].

В исследовании [Zhao H., Wang C., 2019] выполнен анализ взаимосвязи между ЭНЮК и тропическим циклогенезом в СЗТО для лета (июнь-август) за период 1979–2015 гг. Установлено, что изменчивость тропического циклогенеза в СЗТО характеризуется двумя особенностями: 1) значительным сокращением числа ТЦ с 1998 года, 2) более сильной межгодовой связью между ЭНЮК и ТЦ после 1998 г. Такие изменения в значительной степени обусловлены эффектами изменений характера протекания явлений ЭНЮК и изменением климатического режима Тихого океана. С 1998 г., когда холодная фаза тихоокеанского десятилетнего колебания сменилась тёплой, стало наблюдаться больше явлений Ла-Нинья и Эль-Ниньо центрального типа. Более тесная межгодовая взаимосвязь между ЭН и ТЦ, установившаяся с 1998 г., вызвана изменением режима ТПО центральной части океана. Это также сказалось на локализации мест зарождения ТЦ. В период 1998–2015 гг. область зарождения ТЦ сместилась на северо-запад.

В работе [Camargo S.J. et al., 2007] были выделены три основных кластера (типа) траекторий ТЦ в СЗТО (А, Е, G) при событиях ЭНЮК, что показано на рис. 2.2. В течение лет с Ла-Нинья ТЦ имеют более короткие траектории с тенденцией выхода на Юго-восточную Азию (тип А). В годы с Эль-Ниньо ТЦ имеют тенденцию зарождаться ближе к экватору и восточнее, ближе к 180 меридиану (типы Е и G). Их траектории длиннее, и вероятность их выхода на Юго-восточную Азию уменьшается.

В общем случае, в годы с Эль-Ниньо, ТЦ имеют тенденцию существовать более продолжительное время над океаном, до выхода на сушу. Среднее время жизни тайфунов в годы с Эль-Ниньо (Ла-Нинья) составляет примерно 7 (4) дней [Chia H.-H., Ropelewski C F., 2002; Wang B., Chan J.C.L., 2002].

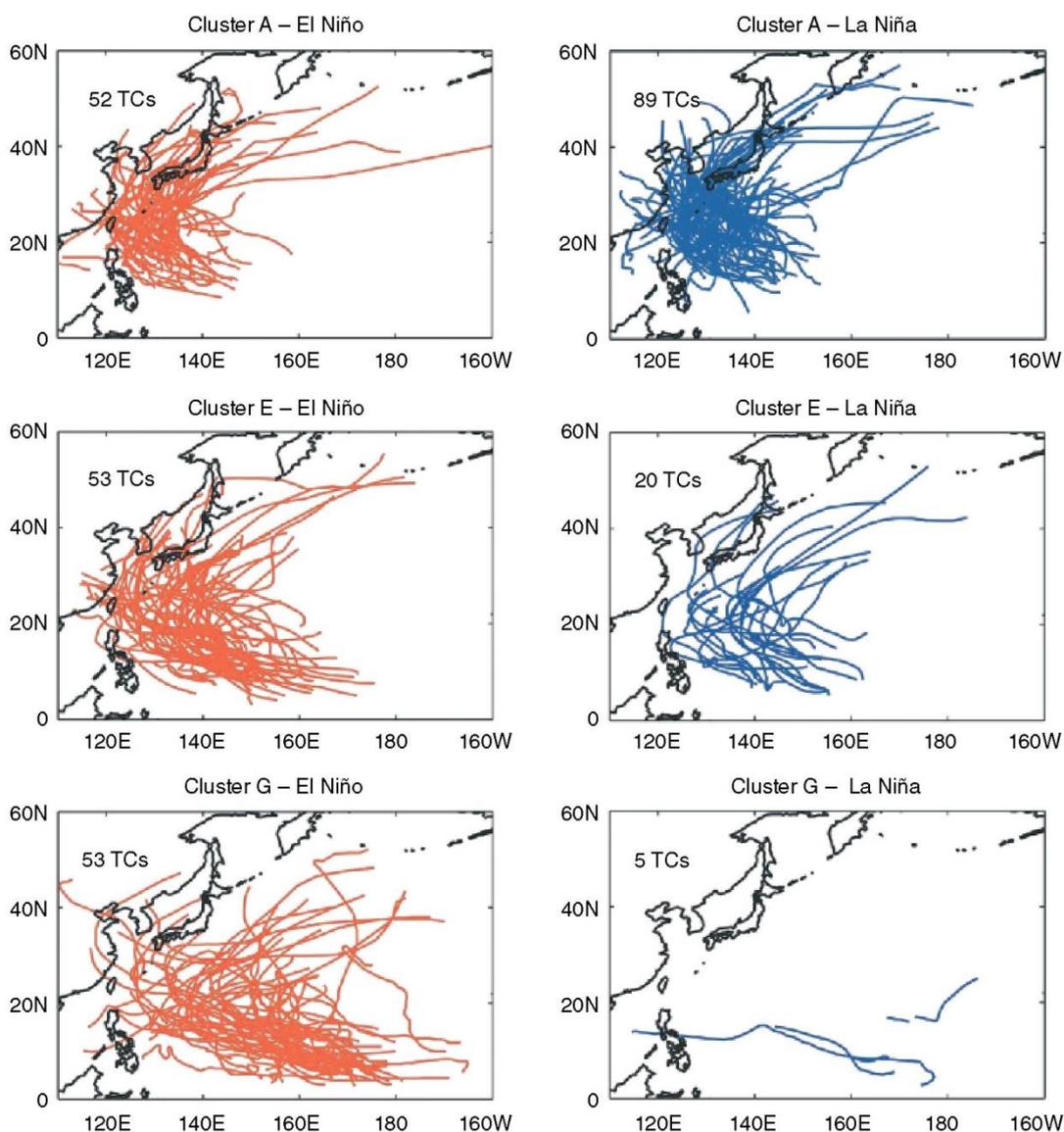


Рис. 2.2 – Траектории тропических циклонов в годы Эль-Ниньо (слева, красный цвет) и Ла-Нинья (справа, синий цвет) [Camargo S.J. et al., 2007]

Влияние Эль-Ниньо на интенсивность ТЦ

В работе [Park D.-S. et al., 2024] выполнено исследование зависимости активности ТЦ в СЗТО, включая акваторию Японского моря, от явления Эль-Ниньо. Получено, что при развитии Эль-Ниньо ТЦ становятся более мощными, более долгоживущими, что объясняется сокращением площади холодных поверхностных вод в СЗТО. Кроме того, в годы с Эль-Ниньо тайфуны имеют бóльший размер, чем в противоположные годы, что было показано в работах [Yuan J. et al., 2007; Chan K.T.F., Chan J.C.L., 2012].

Механизм влияния Эль-Ниньо на интенсивность ТЦ довольно сложен. Известно, что тенденцию увеличения средней интенсивности ТЦ в годы с Эль-Ниньо формируют два фактора – увеличение времени жизни ТЦ и более благоприятные атмосферные условия, в частности, уменьшение сдвига ветра в юго-восточном квадранте СЗТО [Li R., Zhou W., 2012]. В годы начала Эль-Ниньо, в целом, по всей акватории СЗТО возрастает количество тайфунов со скоростями ветра, превышающими 40 м/с [Пудов В.Д., 1989].

Однако в работе [Zheng et al., 2015] было показано, что в отдельные годы с разными типами Эль-Ниньо общее теплосодержание верхнего деятельного слоя океана может уменьшаться по сравнению с климатом на 20%–30%. Это обстоятельство может иметь негативное влияние на развитие ТЦ. Тем не менее, анализ скорости углубления ТЦ показывает, что в годы с ЭН (ЛН) процент случаев взрывного тропического циклогенеза составляет 53% (против 37%) [Wang B., Zhou X., 2008].

Возникновение глубоких тайфунов в СЗТО значительно выше при ЦТ Эль-Ниньо осенью, по сравнению с ВТ Эль-Ниньо [Zhang et al., 2015]. Более частое развитие интенсивных тайфунов осенью при ЦТ Эль-Ниньо связано с большей продолжительностью их жизни, что, в свою очередь, обусловлено смещением субтропического максимума атмосферного давления к западу. Последний существенно влияет на формирование траекторий ТЦ.

Воздействие тайфунов на Дальний Восток в сочетании с явлениями Эль-Ниньо-Южное колебание

На акваторию Японского моря в среднем за сезон выходят 10 % от всех развившихся до стадии шторма (TS) тропических циклонов, от 1 до 7 тропических циклонов за сезон, в среднем – 2,7 ТЦ. На акваторию Охотского моря прямое воздействие оказывают лишь 7% от общего числа ТЦ, развившихся до стадии TS и выше, от 1 до 6 за сезон, в среднем 1,9 ТЦ. При этом не прослеживается тесной зависимости между числом зародившихся ТЦ и числом тех из них, которые вышли на акваторию дальневосточных морей. Коэффициенты парной корреляции между этими параметрами составляют 0,26 и 0,10, соответственно для Японского и Охотского морей. Связь значима на уровне 0,1 для Японского моря, для Охотского моря не значима (Мезенцева Л.И., Евдокимова Л. И., Вражкин А. Н., 2019).

При сравнении полученных результатов с ранее опубликованными, получается, что число выходов ТЦ на дальневосточные моря по авторским оценкам меньше. Объясняется это методикой их подсчета. В указанной работе не учитывались ТЦ, которые оказывали косвенное воздействие и не находились ближе 60 миль от акватории моря.

Число влияющих ТЦ возрастёт, если учитывать их косвенное воздействие: обострение фронтальных разделов, усиление ветра и волнения моря. При таком подходе наиболее часто под воздействием ТЦ оказываются Японское море (влияет 25% от общего числа ТЦ, развившихся до стадией TS и выше), Курильские острова (18%), Охотское (13%) и Берингово (12%) моря. Вероятность воздействия ТЦ на погодные условия Приморского края при таком подходе – около 8% от общего их числа, на Хабаровский край – порядка 3%, на Магаданскую область – примерно 2%.

Следует отметить, что связь между выходом ТЦ на российский Дальний Восток и явлениями ЭНЮК почти не изучена. По этой причине обратимся к работам, где эти связи исследовались для прилегающих территорий и акваторий.

В исследованиях [Risk Management Solutions, 2015] утверждается, что число тайфунов, выходящих на Корейский полуостров, Японские острова и материковый Китай в годы с Эль-Ниньо, превышает климатическую норму. При этом уменьшается число слабых ТЦ (0–2 по шкале Саффира-Симпсона), и увеличивается число мощных ТЦ с категорией 3–5 по шкале Саффира-Симпсона.

В работе [Choi J.W. et al., 2017] за 37 лет проанализирована корреляция между частотой летних тропических циклонов, воздействующих на Корейский полуостров, и индексом восточноазиатского летнего муссона. Показано, что активность восточноазиатского муссона играет доминирующую роль в формировании траекторий тайфунов, значительно большую, чем явление Эль-Ниньо.

Подробное исследование пространственных аномалий повторяемости ТЦ в СЗТО, связанных с явлениями Эль-Ниньо и Ла-Нинья, за период 1959–1997 гг. было выполнено

в работе [Chan J., 2000]. Анализировались аномалии повторяемости ТЦ в каждом прямоугольнике шириной и длиной $5 \times 5^\circ$ в годы предшествующие (ЭН-1 и ЛН-1), с явлениями (ЭН и ЛН) и последующие (ЭН+1 и ЛН+1). Результаты приведены на рис. 2.3 и 2.4. В год ЭН-1 тропический циклогенез над СЗТО чаще всего был слабым к юго-востоку от Японии. В шести из восьми лет в годы ЭН-1 в выборке имела место слабая активность ТЦ над этим районом океана. Над Южно-Китайским морем ТЦ было незначительно больше нормы (рис. 2.3а). Эта закономерность в основном определяется аномальной активностью ТЦ в сентябре и октябре. В годы развития событий ЭН активность ТЦ над выделенным районом Тихого океана бывает значительно выше нормы, особенно на юго-востоке района (рис. 2.3б). Это сильнее проявлялось в сентябре и октябре. Небольшая отрицательная аномалия обнаружена над Южно-Китайским морем (не является статистически значимой). В год ЭН+1 деятельность ТЦ почти на всей акватории СЗТО слабая с двумя очагами отрицательных аномалий, один из которых восточнее Тайваня, второй около 150° в. д. (рис. 2.3с). Кроме 1966 и 1992 годов, все остальные годы ЭН+1 имели слабую годовую активность ТЦ, либо близкую к норме. Для событий ЛН активность тропического циклогенеза над СЗТО имела обратный ход, при этом есть нюансы в распределении аномалий ТЦ (рис. 2.3d-f, рис. 2.4).

Авторам настоящего обзора представляется, что межгодовые вариации активности ТЦ и вариации их влияния на российский Дальний Восток, связаны с квазициклическими естественными процессами Эль-Ниньо; но, при этом, современные природные процессы развиваются на фоне долгопериодных климатических изменений и вариациях других внешних факторов.

Накопленные в ФГБУ «ДВНИГМИ» данные о выходе тропических циклонов на российский Дальний Восток все же позволяют выявить некоторую связь с событиями ЭНЮК. Для этого из исторических архивов за крайние 50 лет были выбраны пять событий Эль-Ниньо, наиболее похожих по интенсивности, временной и пространственной локализации на события ЭН 2023–2024 гг. Проанализирована вероятность воздействия тропических циклонов на территорию Приморского края для летних месяцев, следующих за событиями ЭН. Получено, что воздействие тайфунов на погодные условия Приморского края в летний сезон после явления ЭН маловероятно (вероятность выхода ТЦ составляет порядка 20 %).

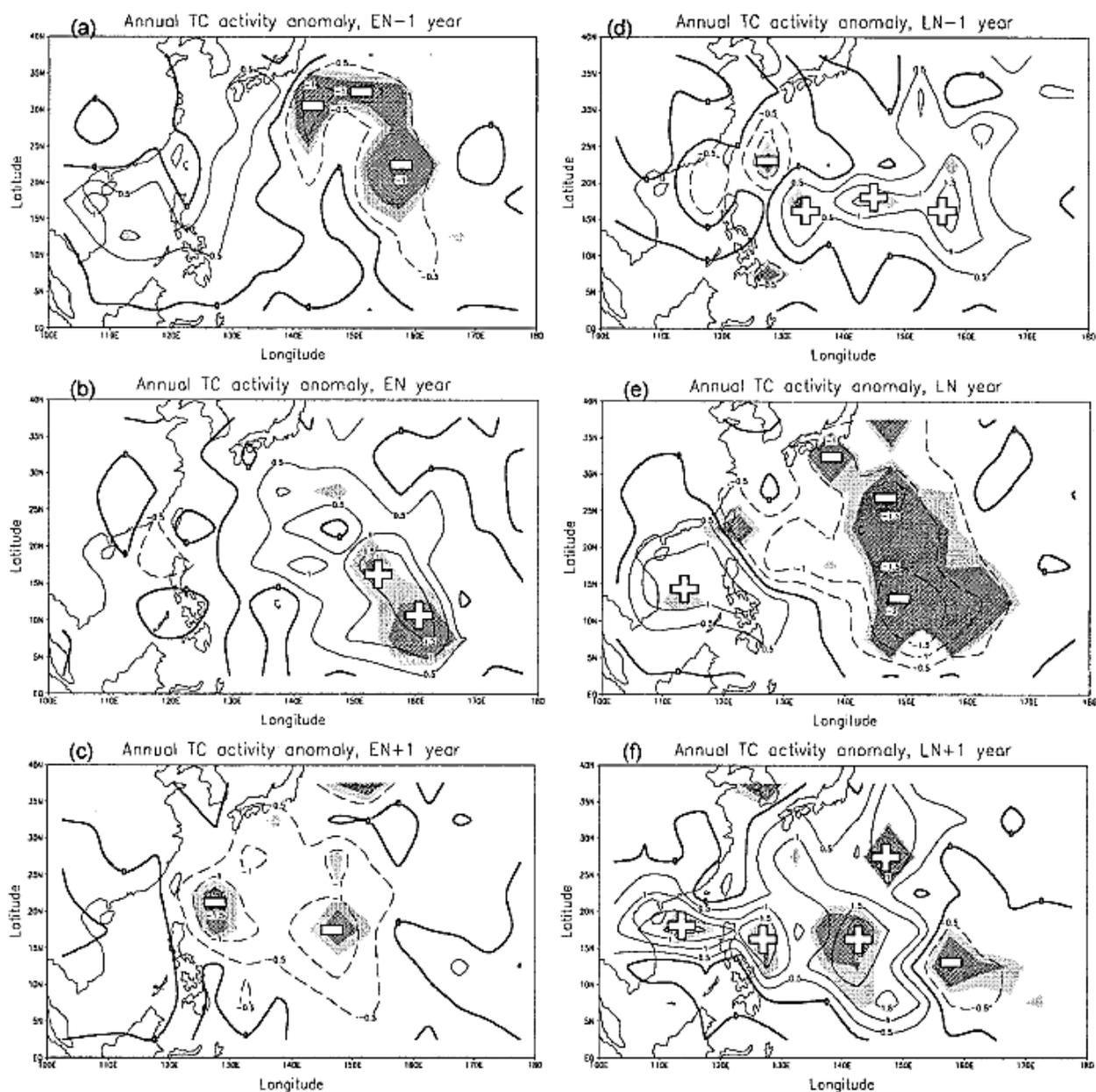


Рис. 2.3 – Композиционные аномалии активности ТЦ над СЗТО в течение ЭН-1 (а), ЭН (b), ЭН+1 (с), ЛН-1 (d), ЛН (e) и ЛН+1 (f). Сплошные (пунктирные) линии обозначают положительные (отрицательные) аномалии, знаки плюс (минус) обозначают примерные места максимумов (минимумов) значений. Интервал изолиний – 0,5. Светлые и темные оттенки обозначают места, где значимость соответствует уровню 90% и 95%, определенная по критерию Стьюдента [Chan J., 2000]

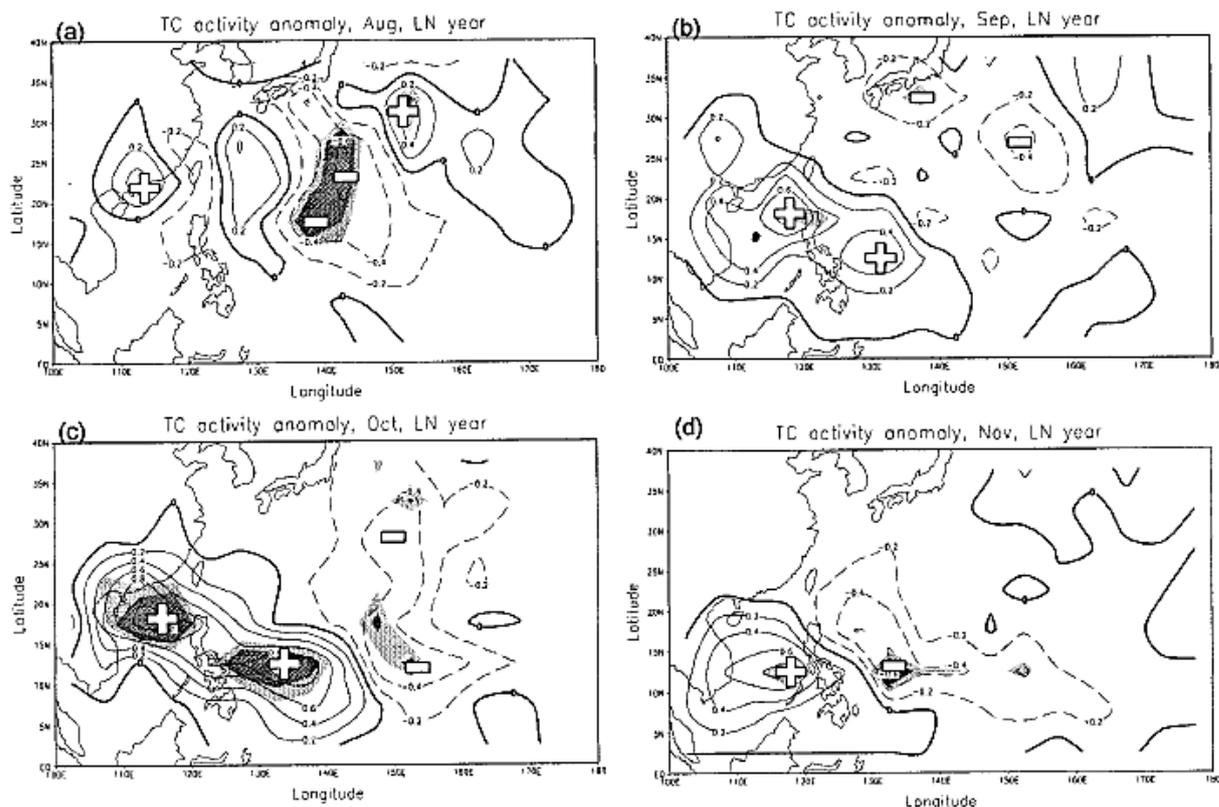


Рис. 2.4 – Аномалии активности ТЦ в августе (а), сентябре (б), октябре (с) и ноябре (д) при развитии Ла-Нинья над СЗТО [Chan J., 2000]. Остальные обозначения, как на рис. 2.3

2.4 Влияние Эль-Ниньо на погодные условия в регионе

Погодные условия и явления, как и атмосферная циркуляция в регионе, связаны с событиями Южного колебания. Однако их связанность имеет выраженный волновой характер, имеет место чередование значимости и знака связи, избирательность. На это накладывается и природа самого явления Южного колебания, имеющего большой диапазон в проявлении интенсивности, длительности, локализации, сезонности и пр.

Первые исследования связи погодных условий на территории Восточной Азии с Эль-Ниньо проводились китайскими учеными. В работе [Шо-У., 1962], например, выполнены оценки «дальних связей» этого явления с режимом увлажнения на юге Западной Сибири. В работе [Пан Хуашенг, 1997] исследовались особенности атмосферной циркуляции Северного полушария на уровне средней тропосферы (500 гПа) в сочетании с термическими условиями Тихого океана к северу от 10 ° ю. ш. во время развития событий Эль-Ниньо – Южное колебание. Было выявлено, что возмущение термобарических полей над Восточной Азией во время развития событий Эль-Ниньо обуславливает значительные аномалии погоды на северо-востоке Китая, в провинции Хэйлунцзян. При этом, сезонная связь более выражена, чем месячная. В работе показано, что начиная с 1949 г. умеренные и сильные явления Эль-Ниньо происходили 9 раз, восемь из них в период с июля по август сопровождалось понижением температуры воздуха и повышением осадков в провинции Хэйлунцзян (с центром в г. Харбин). В шести случаях наблюдались стихийные бедствия. В работе сделан вывод о существовании дальних связей между температурой восточной экваториальной части Тихого океана и положением летней дальневосточной ложбины, обуславливающей аномальные условия погоды в провинции Хэйлунцзян.

Особенности распределения температуры воды на юге ДВФО

Исследования возможного влияния одной из фаз Южного колебания – Эль-Ниньо – на вариации термического режима поверхностных вод Японского моря показали, что в 75% случаев результатом такого влияния является фоновое понижение температуры поверхностного слоя. Обнаруженные связи являются асинхронными. Реагирование Японского моря в среднем запаздывает на 4–5 месяцев по отношению к сигналу Эль-Ниньо. Средние значения отрицательных аномалий температуры поверхности (ТП) Японского моря варьирует в пределах $-2...-3$ °С [Савельев А.В., 1999]. Этот вывод относится и к температуре воздуха в прибрежных районах Японского моря (на северо-западном побережье в том числе). Межгодовые вариации в ходе температуры воздуха и воды на прибрежных станциях Японского моря имеют период, близкий к периоду изменчивости Южного колебания, что делает возможным связывать эти явления. В качестве индикатора явления Эль-Ниньо в работе автор использует средние месячные значения индекса Южного колебания SOI. При этом, основным механизмом, определяющим связанность процессов тропической зоной и Японского моря в годы Эль-Ниньо, послужило состояние гонолульского максимума. Вариации интенсивности и положения последнего отражают процесс Южного колебания в северном полушарии, и прямо воздействуют на гидрометеорологический режим Японского моря. В результате таких вариаций в годы Эль-Ниньо уменьшается заток теплого экваториального воздуха в умеренные широты и, как следствие, понижается температура воздуха над морем. Ослабление пассатных течений, являясь следствием состояния и положения ГМ, приводит к уменьшению интенсивности связанного с ними основного потока Куро-Сию и соответствующему уменьшению массы теплых тропических вод, поступающих через Корейский пролив с Цусимским течением. Под влиянием перечисленных факторов и формируются отрицательные аномалии в поле температуры воздуха и поверхностного слоя Японского моря.

В более поздней работе Hong C.H. et al. (2001) получены аналогичные выводы относительно термического режима Японского моря. В годы с событиями Эль-Ниньо поверхностный слой Японского моря часто бывает намного холоднее, чем в следующий год за событием (в 10 случаях из 14 с событиями Эль-Ниньо) для всей акватории моря, т.е. наблюдается холодное лето. Зимы в годы с Эль-Ниньо часто бывают теплее обычного, при этом обеспеченность теплых зим ниже (в 8 случаях из 14 с событиями Эль-Ниньо), и их экстремальность тоже ниже. При развитии Ла-Нинья тенденции в полях температуры обратные. Авторы отмечают, что к северу от 45° с. ш. оба сезона часто демонстрируют обратный характер распределения температур, а к югу от 40° с. ш. отклонения от норм значительнее.

Особенности распределения температуры воздуха в регионе

На понижение температуры воздуха не только в прибрежной зоне Японского моря, но и большей части Дальнего Востока в годы Эль-Ниньо указано и в работах Бышева В. И. и др. (2000, 2014). Средствами композиционного анализа ансамблей полей атмосферного давления на уровне моря и приповерхностной температуры, соответствующих по времени годовым периодам с событиями Эль-Ниньо и Ла-Нинья, авторами были определены интегральные аномалии этих полей (рис. 2.4). В поле приповерхностной температуры на большей части региона формируются крупномасштабные отрицательные аномалии примерно от $-0,2$ до $-0,6$ °С. Понижение температуры воздуха происходит на фоне понижения атмосферного давления, которое становится ниже климатического на $0,2-1,0$ гПа.

Очень уверенно на низкий фон температуры воздуха в целом на Дальнем Востоке в период активной фазы Эль-Ниньо (конкретно, с ноября по март в годы с событием Эль-

Нинья) указано в работе Груза Г.В. и др. (1999). Явление Ла-Нинья на Дальнем Востоке сопровождается теплыми сезонами, волна холода возвращается только в начале холодного периода следующего за событием года.

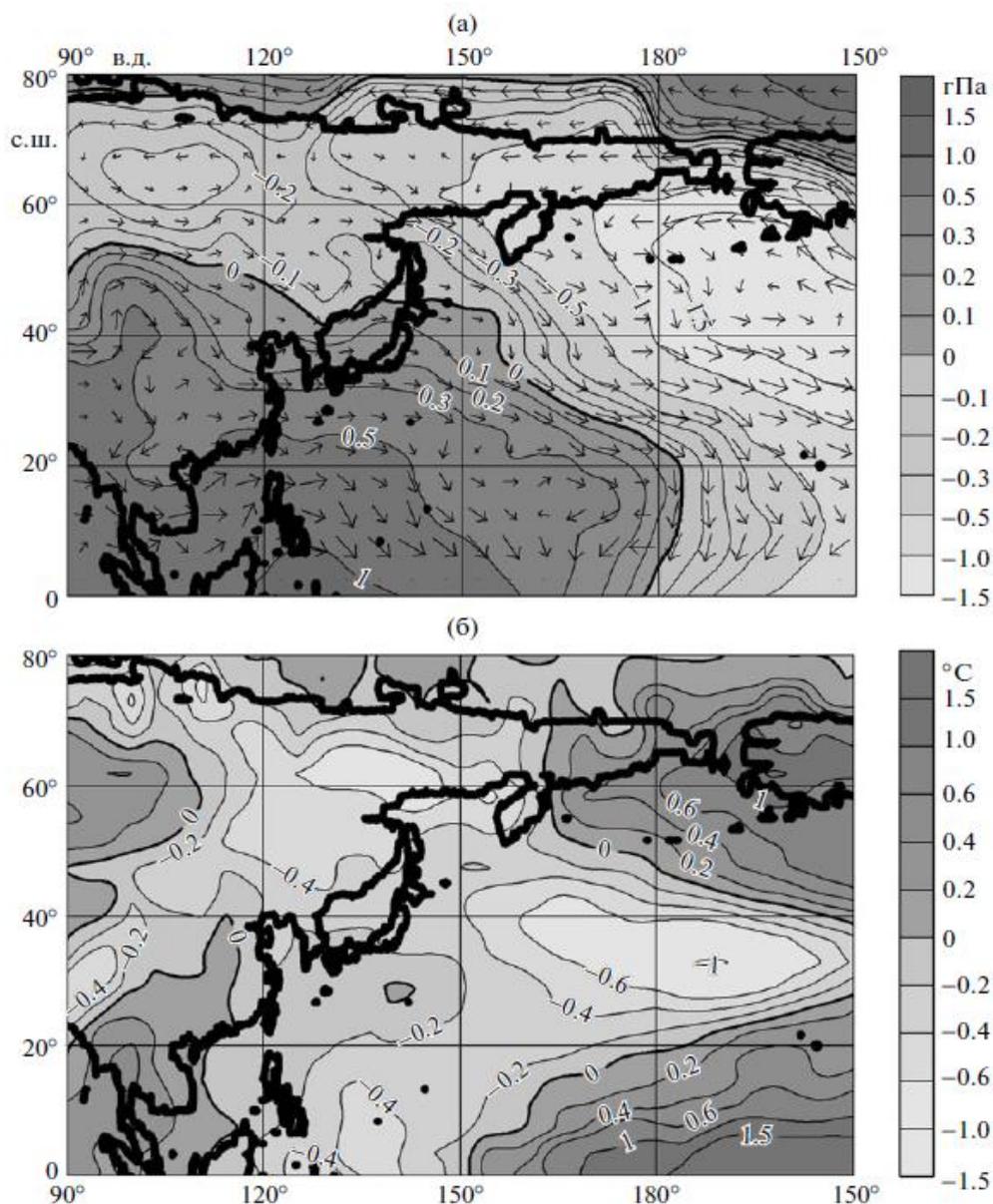


Рис. 2.4 - Амплитуда климатических колебаний атмосферного давления на уровне моря (а) и приповерхностной температуры (б) между фазами Эль-Ниньо и Ла-Нинья, оцененная композиционным методом (10 наиболее значительных событий Эль-Ниньо и 5 событий Ла-Нинья) за 1950–2012 гг. Стрелками указаны аномалии геострофического ветра [Бышев В. И. и др., 2014]

Сведения о распределении температуры воздуха в средней тропосфере в центральных месяцах зимы и лета в годы Эль-Ниньо и предшествующие и последующие сезоны можно найти в работе [Воробьева Е. В., 1989]. В январях, предшествующих году Эль-Ниньо, в течение 2-х лет тропосфера над Дальним Востоком зачастую бывает теплее обычного, в 30–40% случаев она была чрезвычайно теплой. В январе, в сезон, следующий за явлением, в регионе зачастую наблюдаются холодные и экстремально холодные условия. Вероятно, это можно отнести и в целом к зимнему сезону. В июлях в среднем на Дальнем Востоке вероятность возникновения anomalously cold and anomalously warm

месяцев равновелика как в годы с Эль-Ниньо, так и предшествующий и последующий годы, но на второй-третий годы после явления вероятность значительных положительных аномалий возрастает, тогда как вероятность отрицательных аномалий стремится к нулю. Эти данные получены на основе температуры воздуха на среднем энергетическом уровне ($\approx 400\text{--}410$ гПа).

В работе [Волков Ю.Н. и др., 1997] рассматривается возможность использования «дальних связей» для предсказания аномалий температуры воздуха в отдельных районах Северного полушария в годы с событиями Эль-Ниньо. За период с 1949 по 1986 гг. для полей средней месячной и средней сезонной температуры воздуха, приземного давления и геопотенциальных высот изобарической поверхности 500 гПа выполнен композиционный анализ с целью выявления особенностей в годы с явлениями ЭНЮК. Определено, что в годы с событиями Эль-Ниньо выделяются две области значимых аномалий средней месячной температуры воздуха: положительных над Западной Сибирью и Уралом и отрицательных над Бурятией, Читинской и Амурской областями. Показано, что в годы с событиями Ла-Нинья также есть некоторые особенности в распределении атмосферных характеристик, что может послужить основой для дальнейших исследований и использоваться в целях долгосрочного прогноза.

Исследование пространственно-временной взаимосвязи аномалий средней месячной температуры воздуха и месячных сумм осадков по территории Восточной Сибири с различными атмосферными индексами, в том числе, индексами ЭНЮК, выполненное в работе [Krokhin V.V., Luxemburg W., 2007], также указывает на связанность процессов, их обуславливающих.

В работе [Шкаберда О.А., Василевская Л.Н., 2014] по данным многолетних наблюдений (1951–2009 гг.) за температурой воздуха и атмосферными осадками на 10 реперных метеорологических станциях Камчатки произведена оценка изменчивости температурно-влажностного режима в масштабе годового, сезонного и месячного осреднения. Ими выделены несколько масштабов изменчивости средней месячной температуры воздуха, один из которых близок к периодичности ЭНЮК.

Особенности распределения осадков

В работе Груза Г.В. и др. (1999) исследованы условия увлажнения на территории бывшего СССР в период разных фаз Южного колебания. Для территории Дальнего Востока в период «активного» развития Эль-Ниньо и последующий год устойчивых значимых связей с осадками на выделенной территории не выявлено. Явление Ла-Нинья на Дальнем Востоке сопровождается влажными сезонами с ноября по март. Лето после событий Ла-Нинья чаще бывает сухим, по крайней мере, 25% станций региона – в зоне отрицательных аномалий месячных сумм осадков, имеющих 10% уровень значимости.

Рассмотрим отдельные районы региона. В работе Василевской Л.Н. и др. (2013) исследована связь явлений Южного колебания с летним количеством осадков на южном побережье Приморского края. Выявлено, что существует положительная зависимость между событием Ла-Нинья и экстремальным избыточным увлажнением в период развития летнего муссона, и отсутствует связь событий Эль-Ниньо с избыточным увлажнением. На фоне события Эль-Ниньо часто наблюдается дефицит осадков. Эти выводы получены на основе усредненных сумм осадков в период летней муссонной циркуляции по станциям южного побережья Приморского края, период исследования – 1966–2010 гг.

Авторы этой статьи [Василевская Л.Н. и др., 2013] указывают, что экстремально высокие осадки на юге Приморского края наблюдались в 1968, 1971, 1974, 1986, 1990 и 2000 гг. При этом, в 3 случаях из 6 в тропической зоне Тихого океана фиксировалась холодная фаза ЭНЮК – явление Ла-Нинья; в остальных случаях это событие отсутствовало. Гонолульский максимум в годы с экстремально высокими муссонными

осадками чаще всего располагался восточнее и севернее своего климатического положения, давление в его центре незначительно превышало норму. Экстремально низкие летние осадки зафиксированы в 1967, 1973, 1977, 1982, 1997 и 2003 гг. Дефицит осадков наблюдался в 4 случаях из 6 на фоне теплой фазы ЭНЮК – события Эль-Ниньо; в 1967 и 2003 гг. явление ЭНЮК не наблюдалось. Гонолульский максимум в период летнего муссона в эти годы располагался западнее и южнее обычного положения, давление в его центре было несколько ниже нормы.

Близкие результаты, указывающие на незначительное количество летних осадков на территории Приморского края в годы Эль-Ниньо получены в работе [Бышев В. И. и др., 2014]. Авторы выяснили, что в годы Эль-Ниньо тайфуны на Приморский край, как правило, не выходят. Так, во время событий Эль-Ниньо в 1983, 1997–1998, 2003 гг. тайфуны на указанную территорию не воздействовали, что привело к малому количеству летних осадков. В результате высота уровня в водохранилищах на юге края была низкой.

Покровский О. М. (2014) указывал, что катастрофическое наводнение на Амуре 2013 г. наблюдалось на фоне развития Ла-Нинья. Событие Эль-Ниньо наблюдалось за год до катастрофического наводнения.

В работе Liu Y. и др. (2024) исследуется зависимость августовских сумм осадков на территории северо-восточного Китая в периоды событий ЭНЮК. Поскольку эта территория является прилегающей к пограничным территориям России, уместно рассмотреть её результаты. Авторы выяснили, что реакции атмосферы и сумм осадков в августе на северо-востоке Китая при разной интенсивности событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья крайне различны. Рассмотрены механизмы генерации осадков для разных классов явлений. Для нас представляется интересным, что сильные и слабые явления Южного колебания производят совершенно разную реакцию атмосферы. В частности, при сильных явлениях Эль-Ниньо осадков в августе в выделенном районе экстремально много, а при умеренном проявлении Эль-Ниньо – их мало и экстремально мало. Распределение аномалий августовских осадков для северо-восточного Китая приведено на рис. 2.5. Эти исследования идут в разрез с результатами работ, изложенными выше, относящихся к территории юга Приморского края.

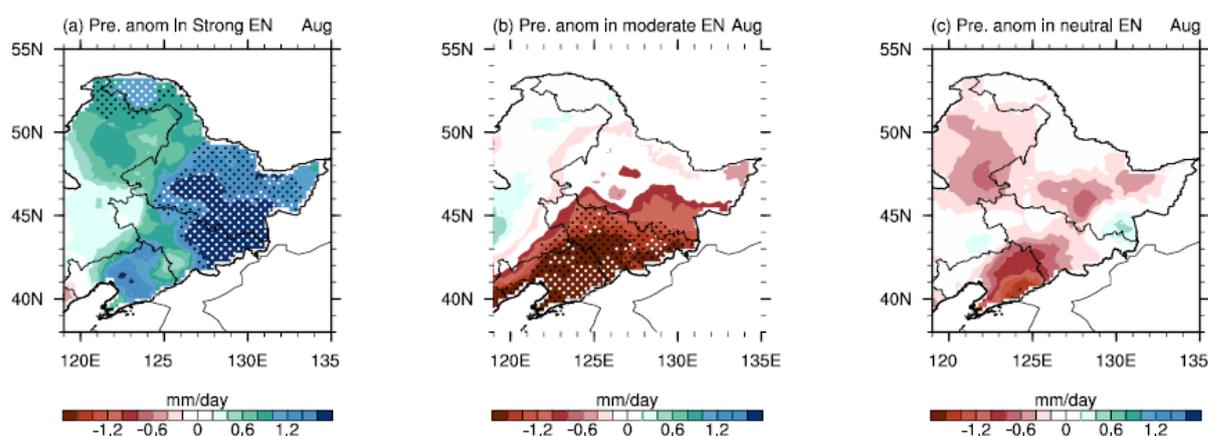


Рис. 2.5 - Аномалии осадков в августе над северо-восточным Китаем в периоды (а) лет сильного развития Эль-Ниньо, (б) лет умеренного развития Эль-Ниньо, (с) нейтральных лет развития Эль-Ниньо. Области, занятые черно-белыми точками, указывают на значимость выше доверительных уровней 90% и 95%, соответственно, определенных с использованием t -теста Стьюдента [Liu Y. и др., 2024]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полагаясь на исследования событий Южного колебания и их связь с атмосферными процессами во внетропических широтах Северного полушария, можно сделать некоторые обобщающие заключения относительно погодных условий на Дальнем Востоке. Эти обобщения носят вероятностный характер, не превышающий 60–80 %.

1. После зим с событиями Эль-Ниньо летний сезон для большей части региона бывает прохладным с доминированием отрицательных аномалий температур воды и воздуха.
2. Исследования возможного влияния одной из фаз Южного колебания – Эль-Ниньо – на вариации термического режима поверхностных вод Японского моря показали, что в 75% случаев результатом такого влияния является фоновое понижение температуры поверхностного слоя. Формирование отрицательных аномалий в поле температуры воздуха и поверхностного слоя Японского моря обусловлены ослаблением интенсивности Цусимского течения и соответствующему уменьшению массы теплых тропических вод, поступающих через Корейский пролив, что прямо связано с интенсивностью основного потока Куро-Сию. В свою очередь, ослабление Куро-Сию является следствием деградации пассатных течений и состоянием и положением гонолульского максимума.
3. Увлажнение по региону более неопределенно, не установлено надежных устойчивых связей между событиями. Полагаясь на предположения о слабом развитии летней фазы дальневосточного муссона и работы [Василевская Л.Н. и др., 2013], после зим с событиями Эль-Ниньо можно надеяться на умеренное и слабое увлажнение в теплый период года (в период летней муссонной циркуляции) на юге Приморского края. Покровский О. М. (2014) указывал, что катастрофическое наводнение на Амуре 2013 г. наблюдалось на фоне развития событий Ла-Нинья; событие Эль-Ниньо наблюдалось за год до катастрофического наводнения. Этот вывод входит в противоречие с работой [Liu Y. и др., 2024], в которой доказывается, что на смежной с Приморским краем территории северо-восточного Китая, в годы с очень сильными Эль-Ниньо осадков в августе экстремально много, а при умеренном проявлении Эль-Ниньо – их мало и экстремально мало, т. е. сильные и слабые явления ЭНЮК обуславливают совершенно разную реакцию атмосферы.
4. При развитии событий Эль-Ниньо, вследствие возрастания температуры поверхности тропической части Тихого океана, происходит увеличение площади теплых поверхностных вод в СЗТО. Вслед за этим растет площадь потенциального тропического циклогенеза, ограниченная примерно изотермой 28 °С. Ослабление северотихоокеанского антициклона влечет за собой деградацию пассатной циркуляции и пассатной инверсии, что, в свою очередь, способствует активному развитию глубокой конвекции. В результате в тропических широтах СЗТО тропических циклонов зарождается больше, их мощность часто превышает климатическую. При этом, определяющую роль в возможности выхода ТЦ в умеренные широты и, в частности, на Дальний Восток, играют такие факторы, как формы высотного термобарического поля над умеренными широтами региона и активность восточноазиатского муссона. Именно эти объекты атмосферной циркуляции регулируют возможность выхода и, следовательно, воздействия ТЦ на дальневосточные моря и в целом на регион. Например, по мнению Бышева В. И. и др. (2014) в годы с явлениями ЭНЮК

тайфуны на территорию Приморского края не воздействовали, что приводит к малому количеству летних осадков.

5. В годы начала развития событий Эль-Ниньо в СЗТО тропических циклонов зарождается обычно больше нормы, они более долгоживущие и более интенсивные. В год, следующие за Эль-Ниньо, деятельность тропических циклонов почти на всей акватории СЗТО слабая либо близка к норме.
6. В летние сезоны, следующие за зимними событиями Эль-Ниньо, влияние тропических циклонов на погодные условия Приморского края маловероятно. Выход ТЦ наблюдался в одном случае из пяти подобных (вероятность выхода – 20%).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бышев В.И., Нейман В.Г., Пономарев В.И., Романов Ю.А., Серых И.В., Цурикова Т.В. Роль глобальной атмосферной осцилляции в формировании климатических аномалий дальневосточного региона России. // Доклады Академии Наук. – 2014. – Том 458. – № 1. С. 92–96.
2. Василевская Л.Н., Шкаберда О.А., Ламаш Б.Е., Платонова В.А., Кукаренко Е.А. Особенности долгопериодной изменчивости температуры, осадков и сроков наступления второй стадии летнего муссона в районе залива Петра Великого. // Вестн. ДВО РАН. — 2013. — № 6. — С. 71–82.
3. Волков Ю. Н., Калашников Б. М. Эль-Ниньо: идентификация и возможность прогнозирования // Тр. ДВНИГМИ. – 1990. – Вып. 136. – С. 158–172.
4. Волков Ю.Н., Калашников Б.М., Жуков А.В. Один из возможных механизмов явления Эль-Ниньо/Южное Колебание // Труды ДВНИГМИ. — 1993. — Вып. 147. — С.27–36.
5. Волков Ю.Н., Калашников Б.М., Жуков А.В., Абрамич А.И., Анжина Г.И. Аномальность атмосферных процессов и возможность прогнозирования экстремальных температур воздуха в годы событий Эль-Ниньо// Труды ДВНИГМИ.-1997.- вып. 147.- с.120-133.
6. Воробьева Е. В. Проявление Эль-Ниньо в характеристиках атмосферной циркуляции и термического режима внетропической зоны Северного полушария // Тр. ГГО. – 1989. – Вып. 524. – С. 10–29.
7. Воскресенская Е.Н., Лубков А.С., Марчукова О.В. Пространственная классификация Эль-Ниньо и условия формирования события 2015 года.// Институт природно-технических систем. Системы контроля окружающей среды, 2015. — Вып. 2. — (22). — С. 80–90.
8. Вязилова Н.А. О сценарии развития аномалий в системе океан-атмосфера в тропиках Индийского и Тихого океанов в годы с Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология. — 2006. — №8. С.19-32.
9. Глебова С.Ю., Хен Г.В. Особенности синоптической обстановки над Охотским морем в 1997 и 2000 гг. // Известия ТИНРО. – 2002. – Том 130. – С. 71–78.
10. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Л.Н. О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание // Метеорология и гидрология. — 1999. — № 5. — С. 32–51.
11. Гущина Д.Ю., Калиновская М.В., Матвеева Т.А. Влияние тихоокеанского десятилетнего колебания на характеристики Эль-Ниньо двух типов при возможных изменениях климата // Метеорология и гидрология. — 2020. — №10. — С.14-27.
12. Железнова И.В. Отклик в системе океан–атмосфера на каноническое Эль-Ниньо и Эль-Ниньо Модоки : дис. канд. геогр. наук. М.. — 2015. —264 с.
13. Железнова И.В., Гущина Д.Ю. Отклик глобальной циркуляции атмосферы на два типа Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология. — 2015. — №3. — с. 36–50.
14. Железнова И. В., Гущина Д. Ю. Аномалии циркуляции в центрах действия атмосферы в период восточно-тихоокеанского и центрально-тихоокеанского Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология. — 2016. — № 11. — С. 41-55.
15. Железнова И. В. , Гущина Д. Ю. Аномалии циркуляции в ячейках Уокера и Хэдли в период развития двух типов Эль-Ниньо.// Метеорология и гидрология. — 2017. — № 10. — С. 8–33.

16. Крохин В.В., Филь А.Ю., Верятин В.Ю. Многолетние изменения повторяемости тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана и их связь с разными факторами формирования. // Метеорология и гидрология. — 2017. — № 12. — С. 35–46.
17. Мезенцева Л.И., Евдокимова Л.И., Вражкин А.Н. Повторяемость опасных явлений на акватории дальневосточных морей, вызванных выходом тропических циклонов // Метеорология и гидрология. — 2019, № 12. — С. 70–79
18. Мохов И.И., Порошенко А.Г. Действие как интегральная характеристика атмосферных (климатических) структур: оценки для тропических циклонов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2020, том 56, № 6. — с. 619–625.
19. Осипов А.М., Гущина Д.Ю. Эль-Ниньо 2015–2016 гг.: эволюция, механизмы, сопутствующие удаленные аномалии // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. № 3. С. 54–81.
20. Пан Хуашенг. О связи между явлением Эль-Ниньо и аномалиями погоды на северо-востоке Китая // Труды ДВНИГМИ. — 1997. — Вып. 147. — С. 115-119.
21. Петросянц М.А., Гущина Д.Ю. Крупномасштабное взаимодействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана // Метеорология и гидрология. — 1998. — № 5. — С. 5–23.
22. Петросянц М.А., Гущина Д.Ю. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Ниньо. Метеорология и гидрология. — 2002. — №8. — С.24–35.
23. Покровский О. М. Феномен проникновения азиатского муссона на север Азии // Исследования Земли из космоса. — 2014. — № 6 . — С. 3–14.
24. Пудов В.Д. Межгодовая изменчивость количества тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана//Морской гидрофизический журнал. — 1989. — № 2. —С.57-60.
25. Пудов В.Д., Петриченко С.А. Связь между эволюцией тропических циклонов в Северо-Западной части Тихого Океана и Эль-Ниньо // Океанология. — 1998. — Т.38. — №4. — С.447-453.
26. Реснянский Ю. Д., Зеленко А. А., Струков Б. С., Степанов В. Н., Хан В. М., Воробьева В. В., Тарасевич М. А., Грицун, А. С., Володин Е. М. Оценка успешности воспроизведения океанографических полей в ретроспективных прогнозах по модели земной системы INM-CM5 // Метеорология и гидрология. — 2024. — № 3. — С. 5–20.
27. Савельев А.В. Отклики явления Эль-Ниньо в Японском море // Тематический сборник ДВНИГМИ. 1999. Вып. №2. — С .54-70.
28. Сидоренков Н.С. Характеристики явления Южное колебание – Эль-Ниньо // Труды Гидрометцентра СССР. — 1991. — Вып. 316. — С. 31-44.
29. Филандер С. Дж., Расмуссон Е.М. Южная осцилляция и Эль-Ниньо. // В кн.: Динамика климата. Л., Гидрометеиздат, 1988. — с. 205–223.
30. Шкаберда О.А., Василевская Л.Н. Многолетняя изменчивость температурно-влажностного режима на полуострове Камчатка // Известия ТИНРО. — 2014. — Т.178. — С. 217-233.
31. Шо-У. Ван Многолетние изменения центров действия атмосферы в Восточной Азии и колебания климата Китая // Acta Meteorol. Sin. — 1962. —Vol. 32. — N. 1. кит. яз.
32. Штейнле О.А., Барашкова Н.К., Волкова М.А. Циркуляция атмосферы в Тихоокеанском регионе как фактор современных изменений климата восточных районов России // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 3. — С. 32–41.

33. Ashok K., Behera S.K., Rao S.A., Weng H., Yamagata T. El Niño Modoki and its possible teleconnection // *J. Geophys. Res.: Oceans*, - 2007. — Vol. 112. — N. C11, C11007.
34. Ashok K., Yamagata T. The El-Niño with a difference // *Nature*, 2009. — Vol. 461, № 24. — P. 481–484.
35. Bjerknes J. 1966. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature // *Tellus*. — 1966. — Vol. 18. — p. 820–829.
36. Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from The Equatorial Pacific // *Mon. Weather Rev.* — 1969, vol.97. — N.3. — p. 163-172.
37. Camargo S.J., Robertson A.W., Gaffney S.J., Smyth P., Ghil M. Cluster analysis of typhoon tracks. Part II: Large-scale circulation and ENSO // *J. Climate*. — 2007. — Vol. 20(14). — p.3654–3676.
38. Chan J.C.L. Tropical cyclone activity in the Northwest Pacific in relation to the El Niño/Southern Oscillation phenomenon // *Mon. Weather Rev.* — 1985. — Vol. 113. — N.4. — pp. 599–606.
39. Chan J.C.L. Tropical Cyclone Activity over the Western North Pacific Associated with El Niño and La Niña Events // *J. Climate*. — 2000. — Vol. 13. — p. 2960–2972.
40. Chang K-I., Hogg N.G., Suk M-S., Byun S-K., Kim Y-G., Kim K. Mean flow and variability in the Southwestern East Sea. // *Deep-Sea Res Pt I*. 2002. — 49:2261–2279. doi:10.1016/S0967-0637(02)00120-6.
41. Chan K.T.F., Chan J.C.L.. Size and strength of tropical cyclones as inferred from QuikSCAT data // *Mon. Weather Rev.* — 2012. Vol. 140. — p. 811–824.
42. Chen Z., Wu R., Chen W. Effects of northern and southern components of the East Asian winter monsoon variability on SST changes in the western North Pacific // *J. Geophys. Res. Atmos.* — 2015. — Vol. 120. — No.9. — P. 3888–3905.
43. Chia H.-H., Ropelewski C.F. The interannual variability in the genesis location of tropical cyclones in the Northwest Pacific // *J. Climate*. — 2002. — Vol. 15. — p.2934–2944.
44. Choi J.W., Cha Y., Kim J.Y. Change in the tropical cyclone activity around Korea by the East Asian summer monsoon // *Geosci. Lett*. 2017. — Vol. 4. — N.2. — 14 p.
45. Climate glossary - Southern Oscillation Index (SOI). — 2002.
46. Elsner J.B., Kara A. B., and Owens M. A. Fluctuations in North Atlantic hurricane frequency // *J. Climate*. — 1999. — Vol. 12. — No. 2. — p. 427—437.
47. Elsner J., Liu K. Examining the ENSO–typhoon hypothesis // *Climate Res.* — 2003. — Vol. 25. — p. 43–54.
48. Gagan M. K. Paleo-El Niño-Southern Oscillation (ENSO) records / In: Gornitz, V. (eds). — *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, — 2009. — Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4411-3_172.
49. Geun W.G. The Summer/Fall variability of the Southern East/Japan Sea in the ENSO period // *Ocean Sci. J.* — 2020. — Vol. 55(3). — P.341–352.
50. Gray W. M. Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation. In D. B. Shaw (Ed.), *Meteorology over the tropical oceans* (pp. 155–218). Royal Meteorological Society. — 1979.
51. Ha K.J., Yoon S.J., Yun K.S. Dependency of typhoon intensity and genesis locations on El Niño phase and SST shift over the western North Pacific // *Theor. Appl. Climatol.* - 2012. - Vol. 109. p. 383–395.

52. Hong C.H., Cho K.-D., Kim H.J. The relationship between ENSO events and sea surface temperature in the East (Japan) Sea // *Prog. Oceanogr.* – 2001. – Vol. 49. – Num 1-4. – P. 21–40.
53. Hong C.H., Cho K.-D., Yang S.K. On the abnormal cooling phenomenon in the coastal areas of East Sea of Korea in Summer, 1981 // *Journal of the Korean Society of Oceanography.* – 1984. – Vol. 19. – P.11–17.
54. Huang R., Wu Y. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism // *Adv Atmos Sci.* 1989. –6:21–32.
55. Kao H.Y., Yu J.Y. Contrasting eastern-Pacific and central-Pacific types of ENSO // *J. Climate.* – 2009. – Vol. 22. N. 3. – p. 615–632.
56. Kim H.-M., Webster P.J., Curry J. A. A modulation of North Pacific tropical cyclone activity by three phases of ENSO // *J. Climate.* – 2011. – Vol. 24. – p.1839–1849.
57. Krokhn V.V., Luxemburg W.M.J. Temperatures and precipitation totals over the Russian Far East and Eastern Siberia: long-term variability and its links to teleconnection indices // *Hydrol. Earth. Syst. Sc.* – 2007. – Vol.11. – N. 6. – p. 1831–1841.
58. Kwon, M., Jhun J.-G., Wang B., An S.-I. Kug J.-S. Decadal change in relationship between East Asian and WNP summer monsoons // *Geophys. Res. Lett.* – 2005. – Vol. 32. – Is. 16– L16709.
59. Kug J.S., Jin F.F., An S.I. Two types of El Niño events: cold tongue El Niño and warm pool El Niño // *J. Climate.* – 2009. – Vol. 22. – N. 6. – p. 1499–1515.
60. Lander M. An exploratory analysis of the relationship between tropical storm formation in the Western North Pacific and ENSO // *Mon. Weather Rev.* – 1994. – Vol. 122. – N.4. – p. 636–651.
61. Li C. Actions of typhoons over the Western Pacific (including the South China Sea) and El Niño // *Adv. Atmos. Sci.* - 1988. - Vol.5. - p. 107–115.
62. Li R., Zhou W. Changes in western Pacific tropical cyclones associated with the El Niño–Southern Oscillation cycle // *J. Climate.* – 2012. – Vol. 25. – p. 5864–5878.
63. Liu Y., Hu Z.-Z., Wu R., Ding Y., Jha B. Evolution of ENSO-related seasonal precipitation anomalies in East Asia: A robustness revisit // *International Journal of Climatology.* – 2024. – Vol. 44(1). – 269–285.
64. Liu J., Yuan C., Luo J. Impacts of model resolution on responses of western North Pacific tropical cyclones to ENSO in the HighRes MIP-PRIMAVERA ensemble // *Front. Earth Sci.* - 2023. - 11 pp.
65. Ma T., Chen W. Climate variability of the East Asian winter monsoon and associated extratropical–tropical interaction: a review // *Ann. N.Y. Acad. Sci.* –2021. – Vol.1504. – No. 1. –P. 44-62.
66. Ma T., Chen W. Recent progress in understanding the interaction between ENSO and the East Asian winter monsoon: A review // *Front. Earth Sci.* – 2023. – Vol. P. 2296-6463.
67. Meehl G.A. The Annual Cycle and Interannual Variability in the Tropical Pacific and Indian Ocean Regions // *Mon. Wea. Rev.* – 1987. – Vol. 115. – No. 1. – P. 27–50.
68. Mooers C.N.K., Bang I., Sandoval F.J. Comparisons between observations and numerical simulations of Japan (East) Sea flow and mass fields in 1999 through 2001 // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography.* – 2005. – Vol. 52, Issues 11–13. – P. 1639–1661.
69. Moriyasu S. The Tsushima current. In Stommel H., Yoshida K. (Eds.), *Kuroshio, its physical aspects* (pp. 353–370). Tokyo: University of Tokyo Press. – 1972.
70. National Weather Service <https://www.weather.gov>
https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

71. Nicholls N. Recent performance of a method for forecasting Australian seasonal tropical cyclone activity // *Aust. Met. Mag.* — 1992. — Vol. 40. — N. 2. — p.105–110.
72. Nino SST Indices in NCAR, 2024. — URL: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>
73. Park D.-S., Seo E., Minkyu L., Cha D.-H., Kim D., Ho C., Lee Myong-In, Kim, H., Min S.-Ki. Sea surface temperature warming to inhibit mitigation of tropical cyclone destructiveness over East Asia in EL NIÑO // *Clim. Atmos. Sci.* — 2024. — Vol.7. — 10.1038/s41612-023-00556-3.
74. Pudov V.D., Petrichenko S.A. 1997-1998 EL NINO and tropical cyclone genesis in the Northwestern Pacific // *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* — 2001. — Vol. 37. — p.576–583.
75. Rasmusson E.M., Carpenter T.H. Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Wind Associated with the Southern Oscillation/El Niño // *Mon. Weather Rev.* — 1982. — Vol. 110. — N. 5. — p. 354-384.
76. Solow A.R. Testing for change in the frequency of El Niño events // *J. Climate.* — 1995. — Vol. 8. — N. 10. — p. 2563–2566.
77. Son H-Y, Park J-Y, Kug J-S Precipitation variability in september over the Korean Peninsula during ENSO developing phase // *Clim Dynam.* 2016. 46:3419–3430. doi:10.1007/s00382-015-2776-x.
78. Song J., Klotzbach P., Qin N., Yihong D. Independent contributions of tropical sea surface temperature modes to the interannual variability of western North Pacific tropical cyclone frequency // *Int. J. Climatol.* — 2024. — Vol. 44. — N.6. — p. 1867-1882.
79. Talley L.D., Min D.-H., Lobanov V. B., Luchin V. A., Ponomarev V. I., Salyuk A. N., Shcherbina A. Y., Tishchenko P. Y., Zhabin I. Japan/East Sea water masses and their relation to the sea's circulation // *Oceanography.* — 2006. — Vol. 19. — No. 3. — P. 33–49.
80. The Effects of the El Niño Southern Oscillation on Typhoon Landfalls in the Western North Pacific: White Paper // *Risk Management Solutions, Inc.* — 2015. — 33 p.
81. Tong B., Wang X., Wang D., Zhou W. A novel mechanism for extreme El Niño events: Interactions between tropical cyclones in the Western North Pacific and sea surface warming in the Eastern Tropical Pacific // *J. Climate.* — 2023. — Vol. 36. — N.8. — p. 2585–2601.
82. Torrence C., Webster P.J. Interdecadal changes in the ENSO–Monsoon system // *J. Climate.* — 1999. —Vol. 12. — No. 8. — P. 2679–2690.
83. Trenberth K. Spatial and temporal variations of the Southern Oscillation. — *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 1976, — Vol. 102. — P. 639–653.
84. Wang B., Chan J.C.L. How strong ENSO events affect tropical storm activity over the western North Pacific // *J. Climate.* — 2002. — Vol. 15. — N.13. — pp. 1643–1658.
85. Wang B., Wu R., Fu X. Pacific–East Asian Teleconnection: How Does ENSO Affect East Asian Climate? // *J. Climate.* — 2000. — Vol. 13. — No. 9. — P. 1517–1536.
86. Wang B., Zhou X. Climate variation and prediction of rapid intensification in tropical cyclones in the western North Pacific // *Meteorol. Atmos. Phys.*.. — 2008. — Vol. 99(1–2). — p. 1–16.
87. Wang C., Li C., Mu M., Duan W. Seasonal modulations of different impacts of two types of ENSO events on tropical cyclone activity in the western North Pacific // *Climate Dynam.* — 2013. — Vol. 40. — p. 2887–2902.
88. Wu G. A numerical study of the relationship between tropical storm formation and ENSO // *Tropical Cyclone Disasters, Proceedings of ICSU/WMO International Symposium, Beijing, China, Peking University Press.* — 1992. — p. 163-169.

89. Wu G, Lau N. A GCM simulation of the relationship between tropical storm formation and ENSO // *Mon. Weather Rev.* — 1992. — Vol. 120. — N.6. — p. 958-977.
90. Wu M.C., Chang W. L., Leung W. M. Impacts of El Niño–Southern Oscillation events on tropical cyclone landfalling activity in the western North Pacific // *J. Climate.* — 2004. — Vol. 17(6). — p. 1419–1428.
91. Wyrтки K. El-Nino – the dynamic response of the Equatorial Pacific Ocean to atmospheric forcing // *J. Phys. Oceanogr.* — 1975. — Vol. 5. — N.4. — p. 572–584.
92. Xu K.-M., Emanuel K. Is the tropical atmosphere conditionally unstable? // *Mon. Weather Rev.* — 1989. — Vol. 117. — N.7. — p. 1471-1479.
93. Yang J., Liu Q., Xie S. P., Liu Z., Wu L. Impact of the Indian Ocean SST basin mode on the Asian summer monsoon // *Geophys. Res. Lett.* — 2007. — Vol. 34. — No. 2. — L02708.
94. Yang S., Li Z., Yu J.Y., Hu, X., Dong W., He S. El NiNo -Southern Oscillation and its impact in the changing climate // *Natl. Sci. Rev.* — 2018. —Vol. 5. — P. 840–857.
95. Yuan J., Wang D., Wan Q., Liu C. A 28-year climatological analysis of size parameters for Northwestern Pacific tropical cyclones // *Adv. Atmos. Sci.* — 2007. — Vol. 24, 24–34.
96. Yuan Y., Yang S. Impacts of different types of El Nino on the East Asian climate: focus on ENSO cycles // *J. Climate.* — 2012. — Vol. 25. — N. 21. — pp. 7702–7722.
97. Zhang W., Leung Y., Fraedrich K. Different El Nino types and intense typhoons in the Western North Pacific // *Climate Dynam.* — 2015. — Vol. 44. — P. 2965–2977.
98. Zhao H., Wang C. On the relationship between ENSO and tropical cyclones in the western North Pacific during the boreal summer // *Climate Dynam.*, 2019. —Vol. 52. — P. 275–288.
99. Zheng Z.-W., Lin I. I., Wang, B., Huang, H. -C., & Chen, C. H. (2015). A long neglected damper in the El Niño–typhoon relationship: A ‘Gaia-like’ process // *Scientific Reports.* — 2015. — Vol. 5. 11103.