О влиянии полюсного прилива на Эль-Ниньо

И.В. Серых, Д.М. Сонечкин

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

E-mail: iserykh@ocean.ru

Описана гипотетическая схема возбуждения теплого течения Эль-Ниньо Северо-Тихоокеанским полюсным приливом, который сам возбуждается 14-месячным чандлеровским колебанием полюсов Земли и распространяется с запада на восток в умеренных широтах. Реалистичность этой схемы проверяется на архиве средне-месячных данных спутниковой альтиметрии (AVISO) за 1993–2013 гг. Достигнув берегов Северной Америки, этот прилив трансформируется в прибой, и волна этого прибоя движется к Панамскому перешейку. В сочетании с одновременным усилением северо-восточных пассатов, которое происходит при осеннем смещении зоны внутритропической конвергенции к югу, эта прибойная волна возбуждает там теплое поверхностное течение Эль-Ниньо. В данных среднемесячных аномалий уровня моря AVISO дальнейшее продвижение приливной волны прослеживается в западном направлении вплоть до берегов Индонезийского архипелага. При этом обнаруживается, что от движущейся прибойной волны поочередно отрываются и уходят к северу и югу вторичные волны. Эти волны способны воздействовать на экваториальный апвеллинг, что важно для развития процессов Эль-Ниньо – Южного колебания.

Ключевые слова: аномалии уровня моря, океанический полюсный прилив, чандлеровское колебание, ритм Эль-Ниньо – Ла-Нинья

Одобрена к печати: 09.02.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-2-44-52

Введение

Одним из наиболее известных явлений, наблюдаемых в системе океан – атмосфера, является Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). Наиболее мощные пики во временных энергетических спектрах индексов ЭНЮК, таких как SOI, Nino3.4 и др., приходятся на периоды около 2,4; 3,6 и 4,8 года (Chao, 1985; Сидоренков, 2002; Бялко, 2013; Peng et al., 2014). Эти периоды являются субгармониками, т.е. удвоениями, утроениями и учетверениями хорошо известного астрономам чандлеровского колебания полюсов Земли с главным периодом около 1,2 года. Анализом данных реальных гидрометеорологических наблюдений уже в середине 20-го века было найдено (Максимов, 1955, 1956, 1970), что чандлеровское колебание возбуждает в атмосфере и мировом океане так называемые полюсные приливы. Максимальные амплитуды этих приливов наблюдаются в умеренных широтах, а их волны распространяются с запада на восток противофазно в северном и южном полушариях. Хотя амплитуды океанических полюсных приливов не превышают пяти сантиметров, их влияние на процессы в океанах и морях указывалось многими исследователями.

Могут ли океанические полюсные приливы влиять на динамику ЭНЮК? Впервые этот вопрос был поставлен в публикации (Sonechkin, Ivashchenko, 2001) и затем обсужден в докладе, представленном совместно с R. Brojewski, на семинаре по динамике Эль-Ниньо в г. Тулуза (Франция) в 2003 г. Там была показана до сих пор не опубликованная гипотетическая схема того, как Северо-Тихоокеанский полюсный прилив может возбуждать теплое поверхностное течение Эль-Ниньо.

Эта схема (рис. 1) состоит из следующих частей. Океанический прилив распространяется в умеренных широтах от восточных берегов Азии в сторону Северо-Американского континента. Достигнув этих берегов, прилив трансформируется в прибойную волну. В силу кон-

фигурации западного побережья Северной Америки прибойная волна сначала бежит к югу, а затем отражается от берегов Центральной Америки на юго-запад в сторону экватора. Эта отраженная волна является причиной того, что очень теплые поверхностные воды, которые всегда существуют у западных берегов Панамского перешейка, начинают двигаться в сторону экватора, порождая поверхностное течение, которое перуанские рыбаки называют Эль-Ниньо.

Рис. 1. Схема того, как полюсный прилив может возбуждать теплое поверхностное течение Эль-Ниньо у берегов Центральной Америки (поле среднегодовых значений температуры поверхности океана в °C по данным COBE SST2)

Отраженная прибойная волна слишком слаба, чтобы в одиночку породить течение Эль-Ниньо. Но метеорологам известна (Romero-Centeno et al., 2003) еще одна причина, которая может способствовать этому. Это – усиление северо-восточных пассатов над рассматриваемой акваторией Тихого океана. Оно происходит осенью и зимой, когда Внутритропическая Зона Конвергенции (ВТЗК) смещается из своего крайнего северного положения к экватору. Совпадение по времени прихода прибойной волны к Панамскому перешейку и усиления северо-восточных пассатов оказывается достаточным, чтобы течение началось.

Холодное поверхностное течение, постоянно приходящее к берегам Перу с юга, препятствует смещению ВТЗК вглубь южного полушария. Смешиваясь с этими холодными водами, теплое течение Эль-Ниньо может исчезнуть в сезоне весны северного полушария, либо может продолжиться, если приток холодных вод с юга будет невелик. Эта неоднозначность поведения называется весенним барьером предсказуемости Эль-Ниньо.

Данные и методика их обработки

Вышеописанная схема оставалась чисто гипотетической до тех пор, пока не стали проводиться спутниковые измерения высоты поверхности Тихого океана. Для анализа нами были использованы данные глобальных среднемесячных аномалий уровня моря (АУМ) за период с 1993 по 2013 гг., полученные со спутников: Topex, ERS-1/ERS-2, Envisat, GFO, Jason-1, Jason-2, Cryosat-2 и Saral/AltiKa. Эти данные и их подробное описание (SSALTO-DUACS, 2015) находятся в открытом доступе на сайте AVISO (<http://www.aviso.altimetry.fr/>). По ним уже было подтверждено соответствие развитой ранее теории океанических полюсных приливов (Максимов, 1955, 1956, 1970; Haubrich, Munk, 1959; Munk, MacDonald, 1960; Lambeck, 1988; Сидоренков, 2002) фактической динамике и географическим особенностям проявления полюсных приливов в различных океанах и морях (Desai, 2002). Поэтому разработчики AVISO посчитали возможным исключить теоретически предполагаемые (Wahr, 1985) полюсные приливы из данных глобальных среднемесячных АУМ с тем, чтобы эти поля представляли только синоптическую изменчивость уровня моря. Это исключение затруднило проверку того, насколько реальной является гипотетическая схема роли океанического полюсного прилива в возбуждении течения Эль-Ниньо, описанная в предыдущем разделе данной работы, ибо на публикуемых AVISO полях нельзя увидеть наиболее мощное проявление океанического полюсного прилива в умеренных широтах Тихого океана. На экваторе теория указывает на смену фазы северного полюсного прилива на противоположную у южного прилива. По этой причине никакого вычитания вклада полюсного прилива из исходных данных спутниковой альтиметрии вблизи экватора не делается. На этих частях карт все выглядит так, как есть в реальности.

Для обнаружения последствий трансформации этого прилива у берегов Северной Америки, предположенных вышеописанной гипотетической схемой, можно использовать метод Максимова (Максимов, 1956). Метод заключается в вычислении по архиву данных AVISO всех среднемесячных полей АУМ с последующим их скользящим трехмесячным осреднением. В полученных таким образом среднемесячных данных за 7 лет укладывается 6 периодов чандлеровского колебания. Каждая архивная семилетка записывается в виде матрицы, состоящей из 6 строк и 14 столбцов. Полученная матрица усредняется по столбцам. В результате получается средняя 14-месячная последовательность, в которой подавлен эффект годового хода, но осталось 14-месячное колебание. Эта операция производится для трех семилеток архива AVISO за 1993–2013 (всего 21 год). Затем все три полученные средние 14-месячные последовательности дополнительно усредняются.

Конечно, в итоговой 14-месячной последовательности отчасти сохраняются эффекты вариаций океанической поверхности с периодами в несколько месяцев. В частности, можно заранее ожидать, что будут видны приэкваториальные волны Россби и Кельвина. Поэтому, для ясного выявления трансформированного полюсного прилива вблизи экватора, полезна дополнительная полосовая фильтрация данных AVISO. Однако в данной работе такая фильтрация не делается, чтобы избежать возможных обвинений в искусственной подгонке данных под желаемый результат.

Полученные результаты

На *рис. 2* и *3* показаны поля АУМ в пределах от 30° с.ш. до 30° ю.ш. для всех месяцев итоговой 14-месячной последовательности. Подчеркнем, что месяцы этой последовательности никак не связаны с сезонами года. В какой-то из конкретных последовательностей, использованных для осреднения, самый первый месяц средней последовательности мог быть январем. Тогда в следующей конкретной последовательности он уже был мартом, в следующей затем последовательности был маем и т.д.

Рис. 2. Поля аномалий уровня моря, возникающих за счет полюсного прилива для месяцев 1–7 итоговой 14-месячной последовательности

Видно, что динамику АУМ вне тропиков определяет «горох» положительных и отрицательных очагов размерами в немногие градусы. Этот «горох» обязан своим существованием синоптической изменчивости уровня моря, не устраненной при осреднении всех полученных 14-месячных последовательностей.

В тихоокеанских тропиках структура АУМ резко отличается от вышеупомянутого «гороха». Определяющим для нее является наличие полос превышений, вытянутых в зональном направлении на десятки градусов долготы. В меридиональном направлении эти полосы также более значительны, чем отдельные «горошины». При переходе от месяца к месяцу полосы смещаются в направлении с востока на запад. Это, в общем, соответствует гипотетической схеме зарождения теплого течения Эль-Ниньо у тихоокеанских берегов Центральной Америки.

Важные детали распространения к западу внутритропической полосы превышений состоят в следующем. На *рис. 2а* и *2б*, соответствующих первым двум месяцам итоговой 14-месячной последовательности, в акватории, непосредственно примыкающей к Панамскому перешейку, видна полоса отрицательных АУМ. На *рис. 2в* (третий месяц средней 14-месячной последовательности) происходит ослабление этой полосы, и непосредственно у берегов Южной Америки появляется слабый очажок положительных АУМ. На *рис. 2г* и *2д* (четвертый и пятый месяцы последовательности) этот очажок усиливается, разрастается вплоть до экватора и далее вдоль него примерно до 220° долготы. Таким образом, полоса отрицательных АУМ, существовавшая в первом и втором месяцах 14-месячной последовательности, заменяется полосой положительных АУМ.

В течение следующего, шестого месяца (*рис. 2е*), эта полоса в восточной части Тихого океана, прилегающей к Центральной Америке, ослабевает до практически нейтральных значений. Она не исчезает, а просто смещается к западу в центр Тихого океана (примерно $170\text{--}240^\circ$ долготы). В течение седьмого и восьмого месяца 14-месячной последовательности (*рис. 2ж* и *3а*) полоса положительных АУМ восстанавливается над всей приэкваториальной частью Тихого океана к востоку от 160° долготы. Кульминация мощности этой полосы происходит в течение восьмого месяца (*рис. 3а*), и возникшее поле по своей структуре напоминает АУМ при событиях Эль-Ниньо. Затем она начинает ослабевать (*рис. 3б* и *3в*), и это, в конце концов, приводит к смене этой полосы на полосу больших отрицательных АУМ (*рис. 3е* и *3ж*), простирающуюся к концу средней 14-месячной последовательности вдоль экватора от побережья Южной Америки до 160° долготы, по своей структуре близкую к АУМ характерным для событий Ла-Нинья.

Тем самым, в тропиках Тихого океана завершается полный 14-месячный цикл колебаний АУМ. Это дает основание считать, что гипотетическая схема того, как возникает поверхностное теплое течение Эль-Ниньо у тихоокеанских берегов Центральной Америки, имеет право на существование.

Переход от максимального развития полосы положительных АУМ (в восьмом месяце последовательности) к максимальному развитию полосы отрицательных значений (в четырнадцатом месяце) не является монотонным во времени и, к тому же, неоднородным в

пространстве. Причинами немонотонности и неоднородности, вероятно, являются взаимодействия волн трансформированного приэкваториального полюсного прилива с экваториальными океаническими волнами Россби и Кельвина. В частности, обращает на себя внимание вторичное, но очень резкое, усиление полосы положительных АУМ вблизи линии смены дат (около 180° долготы) одновременно с существенным ослаблением этой полосы в ее восточной части (рис. 3б и 3в). Вблизи линии смены дат очаг положительных АУМ не только усиливается. Он расширяется на север и юг от экватора вплоть до примерно десятых градусов широты.

Рис. 3. Поля аномалий уровня моря, возникающих за счет полюсного прилива для месяцев 8–14 итоговой 14-месячной последовательности

Расширившись, эта часть полосы положительных АУМ сливается с другой полосой положительных значений, которая сформировалась вблизи широты северного тропика еще в течение девятого месяца средней 14-месячной последовательности (*рис. 3б*). Эта другая полоса сформировалась путем укрупнения и слияния друг с другом «горошин» положительных АУМ, которые существовали примерно с шестого месяца (*рис. 2е*). К югу от экватора, хотя и с небольшим запаздыванием, также формируется вторичная полоса положительных значений. Она (с некоторыми колебаниями) достигает своей кульминации к четырнадцатому месяцу (*рис. 3ж*), когда на этой полосе формируется мощный очаг положительных АУМ вблизи линии смены дат. Заметим, что в это время основная полоса положительных АУМ уже полностью исчезает, и вблизи линии смены дат на экваторе имеет место мощный очаг отрицательных значений.

Сложную картину формирования трех полос положительных АУМ во внутритропической полосе Тихого океана дополняют две полосы отрицательных значений, которые формируются еще далее от экватора, чем выше описанные вторичные полосы положительных АУМ. Процесс их формирования немонотонен по времени и неоднороден в пространстве, как и у вторичных полос положительных значений.

Это говорит о том, что свойства водной массы внутри основной полосы положительных/отрицательных АУМ очень отличаются от свойств водных масс, расположенных к северу и югу от этой полосы. Поэтому граница между этими водными массами имеет характер фронта. Если эти (северный и южный) фронты неустойчивы, на них должны развиваться волновые возмущения. Наблюдаемые вторичные полосы указывают, что неустойчивость имеет место. Детально рассматривая границы основной полосы на *рис. 3а* (восьмой месяц 14-месячного цикла, когда основная полоса положительных значений выражена наиболее сильно), можно увидеть зубцы еще более мелкомасштабной неустойчивости. Если же рассмотреть первичные карты спутниковой альтиметрии без их осреднения, то вместо зубцов можно увидеть вихри синоптического масштаба, которые также оказывают влияние на формирование Эль-Ниньо и Ла-Нинья (Бондаренко, Серых, 2011).

Поля, показанные на *рис. 2* и *3*, позволяют установить, что похожая структура зональных полос положительных и отрицательных АУМ, сменяющих друг друга, существует и в приэкваториальной полосе Атлантического океана. Там (в Гвинейском заливе) также видна основная полоса положительных/отрицательных значений. К северу и югу от ее западной части можно усмотреть вторичные полосы отрицательных/положительных АУМ, хотя они выражены менее отчетливо, чем в Тихом океане. Причина этого, вероятно, в меньшей ширине Атлантического океана. Заслуживает упоминания то, что фазы 14-месячного цикла атлантических полос противоположны фазам тихоокеанских полос. Это еще раз подтверждает, что первопричиной 14-месячной цикличности является чандлеровское колебание полюсов Земли.

Заключение

На основе исследований динамики глобальных данных спутниковой альтиметрии показано, что для известного климатического явления ЭНЮК, помимо годового хода прито-

ка тепла от Солнца, важно чандлеровское колебание земных полюсов (период примерно 14 месяцев). Чандлеровское колебание возбуждает в атмосфере и океанах так называемый полюсный прилив, который распространяется с запада на восток противофазно в обоих полушариях. Основанием данной работы было предположение, что, по достижении полюсным приливом западного побережья Северной Америки в умеренных широтах, этот прилив трансформируется в прибойную волну, бегущую, в основном, к югу. Если эта волна достигает широт Панамского перешейка одновременно с началом смещения ВТЗК от этих широт в сторону экватора, то их совокупное воздействие на океаническую поверхность приводит к смещению очень теплых вод, обычно наблюдающихся в этом районе, которое создает поверхностное морское течение, известное как Эль-Ниньо.

В настоящей работе это предположение подтверждается тем, что в данных спутниковой альтиметрии АУМ находится распространяющаяся к западу волна, чей период составляет 14 месяцев. Похожая, хотя и менее развитая, волна найдена в приэкваториальной Атлантике, где, как известно, существует некоторый аналог Эль-Ниньо. Только ее фаза оказалась противоположной к фазе Тихоокеанской волны. Так и должно быть, если движителями обеих волн являются океанические полюсные приливы, возбуждаемые, в свою очередь, чандлеровским колебанием полюсов Земли.

При выполнении этого исследования И.В. Серых получал финансовую поддержку из гранта Российского научного фонда (проект №14-50-00095).

Литература

1. Бондаренко А.Л., Серых И.В. О формировании явления Эль-Ниньо - Ла-Нинья Тихого океана // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2011. Т. 8. № 2. С. 57–63.
2. Бялко А.В. Спектры возмущений климатической системы // Природа. 2013. № 9. С. 17–26.
3. Максимов И.В. «Полюсный прилив» в море и атмосфере Земли // Труды института океанологии АН СССР. 1955. № 8. С. 92–118.
4. Максимов И.В. Нутационная стоячая волна в мировом океане и ее географические следствия // Известия Академии наук СССР, сер. географическая. 1956. № 1. С. 14–34.
5. Максимов И.В. Геофизические силы и воды океана. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 447 с.
6. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. СПб: Гидрометеиздат, 2002. 366 с.
7. Chao B.F. Excitation of the earth's Chandler wobble by southern oscillation/El Nino, 1900–1979. Greenbelt, Md: National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center. 1985. 19 p.
8. Desai S.D. Observing the pole tide with satellite altimetry // J. Geophys. Res. 2002. Vol. 107. No. C11. 3186. P. 1–13.
9. Haubrich R., Munk W. The Pole Tide // J. Geophys. Res. 1959. Vol. 64. P. 2373–2388.
10. Lambeck K. The Earth's variable rotation: Geophysical causes and consequences. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1980. 450 p.
11. Munk W.H., MacDonald G.J.F. The rotation of the Earth, a geophysical discussion. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1960. 323 p.
12. Peng J.B., Chen L.T., Zhang Q.Y. The relationship between the El Nino/La Nina cycle and the transition chains of four atmospheric oscillations. Part I: The four oscillations // Adv. Atmos. Sci. 2014. Vol. 31. No. 2. P. 468–479.
13. Romero-Centeno R., Zavala-Hidalgo J., Gallegos A., O'Brien J.J. Isthmus of Tehuantepec wind climatology and ENSO signal // J. Climate. 2003. Vol. 16. No. 15. P. 2628–2639.
14. Sidorenkov N.S. The interaction between Earth's rotation and geophysical processes. Wiley-VCH, 2009. 317 p.
15. Sonechkin D.M., Ivashchenko N.N. On the role of a quasiperiodic forcing in the interannual and interdecadal climate variations // CLIVAR Exchanges. 2001. Vol. 6. No. 1. P. 5–6.
16. SSALTO-DUACS. Ssalto/Duacs user handbook: (M)SLA and (M)ADT near-real time and delayed time products, version 4 rev. 4, rep. SALP-MU-P-EA-21065-CLS. Aviso, Ramonville-St-Agne, France, 2015. 74 p.
17. Wahr J.M. Deformation induced by polar motion // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 1985. Vol. 90. No. B11. P. 9363–9368.

Confirmation of the oceanic pole tide influence on El Niño

I.V. Serykh, D.M. Sonechkin

P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, 117997, Russia

E-mail: iserykh@ocean.ru

A hypothetical mechanism is suggested how the North Pacific pole tide (excited by the well-known Chandler wobble in the Earth's pole motion) is capable to excite El Niño. This tide propagates eastward within a temperate latitude belt. Its period is equal to about 14 months. The realism of this mechanism is tested on the basis of monthly mean satellite altimetry data (AVISO) over the period of 1993–2013. Reaching the North America coast, the tide transforms into a surf and the wave of this surf moves in the direction of the Panama Isthmus. Combined with simultaneous strengthening of the north-eastern trade winds that occurs during the autumn shift of the Intertropical Convergence Zone to the south, this surf wave excites the warm near-surface El Niño current. Further westward movement of the surf wave is traced in the AVISO sea level anomalies data up to the coasts of Indonesia Archipelago. It is found that some secondary waves alternately brake away from the surf wave and move north and south. These secondary waves are capable to affect the equatorial upwelling that is important for the El Niño – Southern Oscillation processes.

Keywords: sea level anomalies, the spread of the pole tide, Chandler wobble, El Niño – La Niña rhythm

Accepted: 09.02.2016

DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-2-44-52

References

1. Bondarenko A.L., Serykh I.V., O formirovaniy yavleniya El'-Nin'o - La-Nin'a Tikhogo okeana (About formation of the phenomenon the El-Nino – La-Nina of Pacific ocean), *Sovremennye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No. 2, pp. 57–63.
2. Byalko A.V., Spektry vozmushchenii klimaticheskoi sistemy (Spectra perturbation of the climate system), *Priroda*, 2013, No. 9, pp. 17–26.
3. Maksimov I.V., “Polyusnyi priliv” v more i atmosfere Zemli (“Polar tide” in the sea and the Earth's atmosphere), *Trudy instituta okeanologii AN SSSR*, 1955, No. 8, pp. 92–118.
4. Maksimov I.V., Nutatsionnaya stoyachaya volna v mirovom okeane i ee geograficheskie sledstviya (Nutation standing wave in the ocean and its geographical consequences), *Izvestiya Akademii nauk SSSR, ser. geograficheskaya*, 1956, No. 1, pp. 14–34.
5. Maksimov I.V., *Geofizicheskie sily i vody okeana* (Geophysical strengths and ocean waters), St-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1970, 447 p.
6. Sidorenkov N.S., *Atmosfernye protsessy i vrashchenie Zemli* (Atmospheric Processes and the rotation of the Earth), St-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2002, 366 p.
7. Chao B.F., *Excitation of the Earth's Chandler wobble by southern oscillation/El Nino, 1900–1979*, Greenbelt, Md: National Aeronautics and Space Administration, Goddard Space Flight Center, 1985, 19 p.
8. Desai S.D., Observing the pole tide with satellite altimetry, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2002, Vol. 107, No. C11, 3186, pp. 1–13.
9. Haubrich R., Munk W., The Pole Tide, *J. Geophys. Res.*, 1959, Vol. 64, pp. 2373–2388.
10. Lambeck K., *The Earth's variable rotation: Geophysical causes and consequences*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1980, 450 p.
11. Munk W.H., MacDonald G.J.F., *The rotation of the Earth, a geophysical discussion*, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1960, 323 p.
12. Peng J.B., Chen L.T., Zhang Q.Y., The relationship between the El Nino/La Nina cycle and the transition chains of four atmospheric oscillations. Part I: The four oscillations, *Adv. Atmos. Sci.*, 2014, Vol. 31, No. 2, pp. 468–479.
13. Romero-Centeno R., Zavala-Hidalgo J., Gallegos A., O'Brien J.J., Isthmus of Tehuantepec wind climatology and ENSO signal, *J. Climate*, 2003, Vol. 16, No. 15, pp. 2628–2639.
14. Sidorenkov N.S., The interaction between Earth's rotation and geophysical processes, Wiley-VCH, 2009, 317 p.
15. Sonechkin D.M., Ivashchenko N.N., On the role of a quasiperiodic forcing in the interannual and interdecadal climate variations, *CLIVAR Exchanges*, 2001, Vol. 6, No. 1, pp. 5–6.
16. SSALTO-DUACS, Ssalto/Duacs user handbook: (M)SLA and (M)ADT near-real time and delayed time products, version 4 rev. 4, rep. SALP-MU-P-EA-21065-CLS, Aviso, Ramonville-St-Agne, France, 2015. 74 p.
17. Wahr J.M., Deformation induced by polar motion, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 1985, Vol. 90, No. B11, pp. 9363–9368.