

## ВЛИЯНИЕ СУПЕР-ЭЛЬ-НИНЬО НА ГЛОБАЛЬНУЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЦЕПЬ

А.В. Волкова, Н.Н. Слюняев, Ф.Г. Сарафанов

Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук, Нижний Новгород, Россия,  
a.volkova@ipfran.ru

## THE IMPACT OF SUPER EL NINO ON THE GLOBAL ELECTRICAL CIRCUIT

A.V. Volkova, N.N. Slyunyaev, F.G. Sarafanov

A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia,  
a.volkova@ipfran.ru

**Аннотация.** Глобальная электрическая цепь — это концепция, описывающая распределение электрических токов в атмосфере. Существенную роль в образовании электрически активных облаков, служащих источниками электродвижущей силы, играет, так называемое, Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК). ЭНЮК проявляется в колебании температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана. Данное исследование направлено на изучение связей между ГЭЦ и ЭНЮК. Изменчивость ГЭЦ моделируется на основе метеорологических данных, данных реанализа, математической модели Weather Research and Forecasting, а также параметризации ионосферного потенциала. Результаты показывают, что сильные Эль-Ниньо влияют на суточную изменчивость ионосферного потенциала.

**Ключевые слова:** Глобальная электрическая цепь, Эль-Ниньо Южное колебание, ионосферный потенциал.

**Abstract.** The global electric circuit is a concept describing the distribution of electric currents in the atmosphere. An essential role in the formation of electrically active clouds, which serve as sources of electromotive force, is played by the so-called El Niño Southern Oscillation (ENSO). ENSO manifests itself in fluctuations in the temperature of the surface water layer in the equatorial Pacific Ocean. This study is aimed at studying the links between GEC and ENSO. The variability of the GEC is modeled on the basis of meteorological data, reanalysis data, a mathematical model of Weather Research and Forecasting, as well as parameterization of the ionospheric potential. The results show that strong El Niño influences the diurnal variability of the ionospheric potential.

**Keywords:** Global electric circuit, El Niño Southern Oscillation, ionospheric potential.

### ВВЕДЕНИЕ

Глобальная электрическая цепь (ГЭЦ) — распределенный токовый контур, образованный поверхностью Земли и нижними слоями ионосферы. Основными источниками ЭДС, поддерживающими потенциал ионосферы относительно Земли, служат электрически активные облака [Williams, 2009]. Из-за распределения зарядов внутри облаков, обычно электрический ток течет вверх к ионосфере в областях, занятых такими облаками, и стекает вниз к Земле в регионах, где данные облака отсутствуют. Недавние исследования подчеркивают роль ГЭЦ как важнейшего компонента земной системы. Так, ранее уже была показана связь ГЭЦ с некоторыми климатическими явлениями, например, Эль-Ниньо Южное колебание (ЭНЮК) и Колебание Маддена-Джулиана.

ЭНЮК — это крупномасштабная климатическая мода, возникающая в результате взаимодействия тропической части Тихого океана и атмосферы [McPhaden et al., 2020]. Цикл ЭНЮК состоит из теплой фазы (Эль-Ниньо), когда температура поверхности центральной части Тихого океана повышается на несколько градусов, и холодной фазы (Ла-Нинья), когда температура поверхности океана понижается [Philander, 1985]. Это масштабное изменение климата Земли вызывает разнообразные последствия по всему земному шару. В последнее время события Эль-Ниньо так сильно изменились, что был выявлен новый тип Эль-Ниньо, т.н. супер-Эль-Ниньо [Hong et al., 2014]. Супер-Эль-Ниньо отличается не только чрезвычайно сильными аномалиями температуры поверхности океана, но и связанными с ними последствиями, такими как, например, поперечная циркуляция Южного полушария. Ранее

уже было показано существование взаимосвязи между ЭНЮК и ГЭЦ, однако эти исследования не уделяли должного внимания супер-событиям.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Для моделирования динамики атмосферы в данной работе использовалась модель Weather Research and Forecasting (WRF) в глобальном режиме моделирования с пространственным разрешением  $1^\circ \times 1^\circ$  и с 51 уровнем высот. Всего проведено 5114 расчетов для каждого третьего дня с 1 января 1980 г. по 30 декабря 2021 г. Для исследования влияния супер-событий на ионосферный потенциал использовалась параметризация, предложенная в [Slyunyaev et al., 2019]. Данная параметризация учитывает многие атмосферные параметры и позволяет с большой точностью описывать ионосферный потенциал.

Также в данной работе были использованы экспериментальные данные о градиенте потенциала, полученные с метеорологической станции Восток, расположенной в Арктике. Всего в работе были использованы данные с 1 января 2006 г. по 31 декабря 2020 г. [Burns et al., 2012].

Для определения фаз Эль-Ниньо использовались данные архива Хэдли центра [Rayner et al., 2003], включающие данные о температуре поверхности океана. Супер-Эль-Ниньо определялись по превышению  $1.5^\circ \text{C}$  аномалии 5-месячного скользящего среднего температуры поверхности океана в регионе Niño 3.4. Всего в период с 1980 по 2021 гг. попало три супер-Эль-Ниньо: 1982/83 гг., 1997/98 гг. и 2015/16 гг. Данные станции Восток включают только одно супер-событие, 2015/16 гг.

На рис. 1а)–1г) черным цветом показана суточная вариация ионосферного потенциала (градиента потенциала), усредненная по 5-месячному промежутку времени с октября по февраль включительно (данный промежуток времени был выбран из-за достижения фазы Эль-Ниньо максимума именно в это время года) и по всем годам исследования. Красным цветом показана аналогичная суточная вариация для отдельных лет исследования, в которые наблюдались супер-Эль-Ниньо. Прерывистыми линиями показаны стандартные ошибки соответствующих кривых. Из рис. 1 можно видеть, что каждое отдельное событие искажает суточную вариацию ионосферного потенциала (градиента потенциала). Мы можем видеть статистически значимое уменьшение ионосферного потенциала с 16 по 20 ч по UTC

и увеличение ионосферного потенциала с 8 до 12 ч по UTC.

На рис. 2–3 показаны суточные вариации ионосферного потенциала (рис. 2) и градиента потенциала (рис. 3) во время сильных Ла-Нинья, аналогичные представленным на рис. 1 для Эль-Ниньо. Сильные Ла-Нинья, аналогично супер-Эль-Ниньо, определялись по превышению индекса Niño 3.4 1.5 °C, но с отрицательным знаком. Результаты, представленные на рис. 1–3 показывают явную асимметрию между фазами Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Супер-Эль-Ниньо сильно искажают суточную вариацию ионосферного потенциала (градиента потенциала), в то время как сильные Ла-Нинья не имеют одинакового для всех событий влияния на ионосферный потенциал (градиент потенциала).

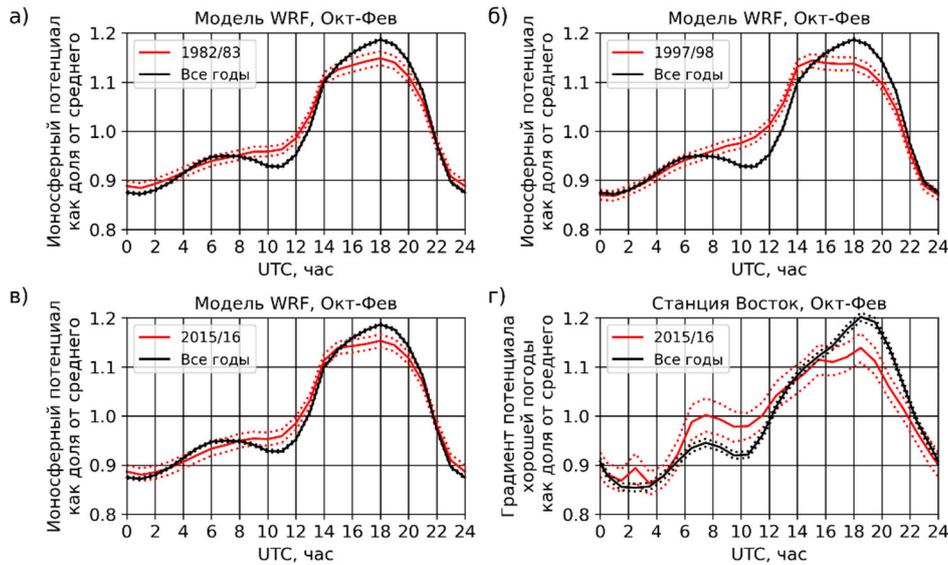


Рис. 1. Суточная вариация во время супер-Эль-Ниньо: а)–в) ионосферного потенциала, полученная при помощи данных модели WRF (для периода с 1980 г. по 2021 г.); г) градиента потенциала, полученная при помощи данных станции Восток (для периода с 2006 г. по 2020 г.)

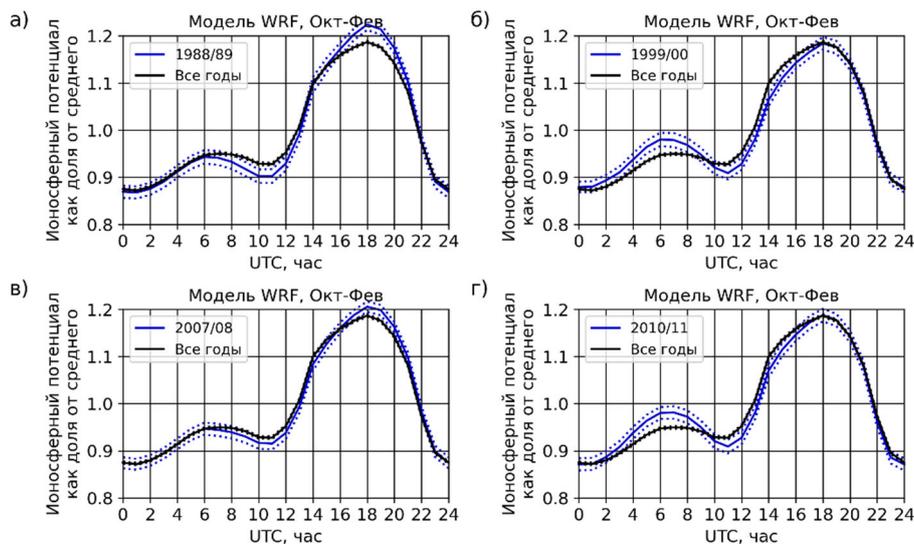


Рис. 2. Суточная вариация ионосферного потенциала во время сильных Ла-Нинья, полученная при помощи данных модели WRF (для периода с 1980 г. по 2021 г.)

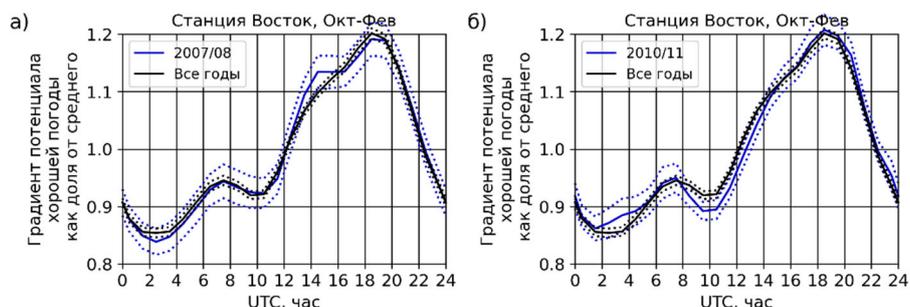


Рис. 3. Суточная вариация градиента потенциала во время сильных Ла-Нинья, полученная при помощи данных станции Восток (для периода с 2006 г. по 2020 г.)

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование изменчивости ГЭЦ позволяет нам выявить статистически значимую связь между ГЭУ и супер-Эль-Ниньо. Сильные явления Эль-Ниньо и Ла-Нинья влияют на глобальное распределение электрически активных облаков в атмосфере Земли, которые в свою очередь влияют на форму суточной изменчивости ионосферного потенциала. На пике супе-событий (в декабре) относительное значение суточного потенциала уменьшается в 8:00–12:00 UTC и увеличивается в 16:00–20:00 UTC. Однако, данный эффект не заметен на сильных Эль-Ниньо. Во время сильных Эль-Ниньо суточная вариация ионосферного потенциала остается практически неизменной.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Burns G.B., Tinsley B.A., Frank-Kamenetsky A.V. et al. Monthly Diurnal Global Atmospheric Circuit Estimates

Derived from Vostok Electric Field Measurements Adjusted for Local Meteorological and Solar Wind Influences // *J. Atmos. Sci.* 2012. V. 69, N 6. P. 2061–2082.

Hong L.-C., LinHo, Jin F.-F. A Southern Hemisphere booster of super El Niño // *Geophys. Res. Lett.* 2014. V. 41, N 6. P. 2142–2149.

McPhaden, M.J., Santoso, A., & Cai, W. El Niño Southern Oscillation in a changing climate (Geophysical Monograph Series 253). John Wiley & Sons, Inc.—American Geophysical Union 2020. 502 p.

Philander S. El Niño and La Nina // *J. Atmos. Sci.* 1985. V. 42. P. 2652–2662.

Rayner N.A., Parker D.E., Horton E.B. et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108, N D14. P. 4407.

Slyunyaev N.N., Ilin N.V., Mareev E. A. Modeling contributions of continents and oceans to the diurnal variation of the global electric circuit // *Geophys. Res. Lett.* 2019. V. 46, N 10. P. 5516–5525.

Williams E. R. The global electrical circuit: A review // *Atm. Res.* 2009. V. 91, N 2. P. 140–152.