

## Вариации атмосферного электрического поля по наблюдениям в Якутске

А.А. Торопов\*, В.И. Козлов<sup>\*,\*\*</sup>, Р.Р. Каримов\*

\*Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю. Г. Шафера СО РАН, г. Якутск

\*\*Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск

*Проблема появления в атмосфере Земли электрического поля является одной из фундаментальных проблем физики атмосферы, нерешенной до настоящего времени. Наиболее признанной в настоящее время теорией, объединяющей все протекающие в атмосфере электрические процессы в единый токовый контур и объясняющей появление атмосферного электрического поля, является концепция глобальной электрической цепи (ГЭЦ).*

*Экспериментальные исследования атмосферного электрического поля позволяют приблизиться к пониманию физических механизмов, лежащих в основе ГЭЦ.*

*С 2009 года в ИКФИА СО РАН ведутся непрерывные наблюдения напряженности атмосферного электрического поля, для измерения которого используется электростатический флюксметр. Регистрирующий комплекс реализован на базе нетбука и аналого-цифрового преобразователя.*

*По результатам (2009–2013) анализа данных атмосферного электрического поля в г. Якутске, установлено, что суточный ход имеет два максимума в весенние, летние и осенние месяцы. В зимние месяцы суточный ход имеет один максимум и один минимум. Сезонный ход среднемесячных значений напряженности поля имеет максимумы в весенние и осенние месяцы и минимумы, которые приходятся на летние и зимние месяцы. Годовые вариации напряженности поля в условиях «хорошей погоды» за период наблюдений повторяются из года в год, минимумы и максимумы практически не смещаются по месяцам. В вариациях среднемесячных значений напряженности электрического поля за пятилетний период, наблюдается тренд к уменьшению амплитуды сезонных вариаций напряженности поля и общих значений величины напряженности поля.*

*В качестве возможной причины наблюдаемого тренда к уменьшению амплитуды среднемесячных значений напряженности поля предполагается изменение уровня солнечной активности, которая в период 2009–2013 гг. находится в фазе возрастания.*

*Ключевые слова: атмосферное электрическое поле, унитарная вариация, глобальная электрическая цепь, ионосфера.*

## Variations of the Atmospheric Electric Field by Observations in Yakutsk

A.A. Toropov\*, V.I. Kozlov<sup>\*,\*\*</sup>, R.R. Karimov\*

\*Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk

\*\*North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk

*The problem of the appearance of atmospheric electric field of the Earth is one of the fundamental problems of atmospheric physics, unresolved until now. Now the most recognized theory that unites all the electrical processes in the atmosphere into a single current loop, and explains the emergence of the atmospheric electric field, is the concept of the global electric circuit (GEC).*

*Experimental studies of atmospheric electric fields allow you to approach understanding of the physical mechanisms underlying the global electric circuit.*

*Regular research of atmospheric electric field in Yakutsk were initiated in 2009 and have been continued to the present. Measurements of atmospheric electric field strength are carried out by electrostatic field-mill. Registering complex is realized on the basis of a netbook with analog-to-digital converter.*

---

ТОРОПОВ Анатолий Анатольевич, м.н.с., e-mail: Anatol2010@mail.ru; КОЗЛОВ Владимир Ильич, к.ф.-м.н., в.н.с., e-mail: Vkozlov@ikfia.sbras.ru; КАРИМОВ Рустам Рамильевич, к.ф.-м.н., с.н.с., и.о. зав. лаб., e-mail: karimov@ikfia.sbras.ru.

*By observations in Yakutsk in 2009–2013 it is shown that the diurnal variation in atmospheric electric field has the character of a double wave with two maxima and two minima for spring, summer and autumn months. The diurnal variation in atmospheric electric field is a simple half-wave with one maximum and one minimum for the winter months. Seasonal variation of the atmospheric electric field intensity has peaks in the spring and autumn months and lows that occur in the summer and winter months. Annual variations in atmospheric electric field in the "good" weather conditions during the period of observation are repeated from year to year, minimums and maximums practically displaced by months. It was found that the variation of the electric field has a trend to a decrease in the amplitude of seasonal variations in field strength and common values 2009–2013 of the quantity of tension.*

*As a possible cause of the observed trend to a decrease in the amplitude of the monthly averages of the field strength, it is assumed change of solar activity, which in the period 2009–2013 it is in the increase of phase.*

Key words: atmospheric electric field, unitary variation, global electric chain, ionosphere.

### Введение

До середины 20-го века экспериментальные исследования атмосферного электрического поля сводились, в основном, к измерениям вблизи поверхности земли. Эти измерения, проводившиеся в ряде пунктов иногда на протяжении десятилетий, позволили установить ряд характерных особенностей поведения атмосферного электрического поля в приземном слое и установить его связь с другими элементами атмосферного электричества.

По результатам многочисленных экспериментальных исследований [1–5] было выяснено, что суточные вариации атмосферного электрического поля в условиях хорошей погоды испытывают изменения, происходящие во всех точках земного шара одновременно – так называемая унитарная вариация. Синхронные изменения наблюдаются как в суточном, так и в годовом ходе. Суточные вариации электрического поля в условиях «хорошей» погоды имеют вид простой волны с максимумом в 19 часов мирового времени (по Гринвичу) и минимумом в 3 часа мирового времени. Подобные вариации отмечаются в полярных областях, над океанами и в некоторых континентальных областях. Среднее значение напряженности поля у поверхности земли составляет около 120–130 В/м на материках и 80–90 В/м над поверхностью океанов.

По современным представлениям причиной появления в атмосфере электрического поля является множество процессов, происходящих в атмосфере, ионосфере и магнитосфере Земли, объединенные общим понятием – глобальная электрическая цепь (ГЭЦ) [6, 7]. В настоящее время концепция ГЭЦ является основой для построения теорий атмосферного электричества [8]. Под ГЭЦ подразумевают существование распределенного электрического контура [9] с «генераторами», роль которых выполняют планетарные грозовые процессы, и областями с «хорошей» погодой, в которых происходит рассеивание энергии ГЭЦ [10]. Поверхность Земли

за счет проводимости играет роль нижней части контура ГЭЦ [7]. Верхней частью контура является ионосфера [11], которая в свою очередь подвержена влиянию физических процессов земного (главным образом атмосферного) происхождения (высотные разряды в ионосфере и т.д.) и внеземного (потоки заряженных частиц от солнца, галактические космические лучи, солнечные вспышки и т.д.) [11–13]. В основных чертах такая концепция в чем-то схожа с теорией «шарового конденсатора» Вильсона [14]. Основным отличием является тот факт, что процессы, связанные с ГЭЦ, простираются на ионосферу и магнитосферу Земли [9, 15–18]. В работах [16, 19] рассматривается возможность существования ГЭЦ на других планетах Солнечной системы, которые имеют ионосферу.

В последние годы интерес к физической природе ГЭЦ повысился в связи с тем, что параметры ее элементов (к которым, несомненно, относится атмосферное электрическое поле) являются индикаторами изменений в климатическом состоянии Земли, а также процессов, происходящих в околоземном космическом пространстве, как показано в работах [20–26]. Это обстоятельство и определяет необходимость проведения непрерывных измерений атмосферного электрического поля и дальнейшего анализа полученных данных для выявления физических механизмов лежащих в основе ГЭЦ.

В данной работе рассматриваются особенности вариаций напряженности атмосферного электрического поля по наблюдениям в г. Якутске.

### Аппаратура и методика измерений

Непрерывные наблюдения напряженности атмосферного электрического поля в г. Якутске были организованы в 2009 г. и продолжаются по настоящее время. Измерение напряженности поля осуществляется с помощью электростатического флюксметра марки EZ НМЛС 411124000 производства НИРФИ (г. Нижний Новгород),

установленного на крыше главного здания ИКФИА СО РАН ( $62^{\circ}1' N$ ,  $E129^{\circ}43' E$ ). Прибор имеет диапазон измерений напряженности поля  $\pm 50$  кВ/м с точностью  $\pm 0,5$  В/м. Временной отклик не более 0,085 с.

Система регистрации данных напряженности поля выполнена на базе портативного компьютера – нетбука, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) E-14-440 фирмы L-Card, стабилизированного источника питания электронной схемы флюксметра (с напряжением  $\pm 12$  В), источника бесперебойного питания (ИБП).

Для сбора и первичной обработки данных использовалось программное обеспечение, написанное на языке LabView (National Instruments) с использованием штатных динамических библиотек (.dll), предоставляемых производителем АЦП. Данные записываются в файл один раз в секунду. Связь между флюксметром и системой сбора данных осуществляется посредством экранированной кабельной линии. Синхронизация системного времени на компьютере производится посредством штатных программ коррекции времени через сеть интернет. При отключении электроэнергии комплекс, благодаря ИБП, сохраняет работоспособность не менее 2-х часов.

Несколько раз в год (во время профилактических работ), электростатический флюксметр калибруется в искусственном электрическом поле.

## Результаты

Для выделения суточных и сезонных вариаций электрического поля были отобраны дни с «хорошей» погодой (отсутствие осадков, сильного ветра, туманов, гроз и т.д.) по всем месяцам 2009–2013 гг. В зависимости от года, сезона и месяца число отобранных дней колебалось от 2 до 23 в месяц. Следует уточнить, что в данную выборку не попали дни, во время которых наблюдения не производились – флюксметр был отключен или функционировал неполные сутки по разным причинам (профилактические работы, калибровка, отключение электроэнергии и т.д.).

Построение графиков суточных вариаций поля по месяцам осуществлялось методом «наложения эпох». Использовались усредненные за 1 ч секундные значения напряженности поля.

На рис. 1 представлены характерные вариации напряженности поля для 12 месяцев 2010 г. в пункте наблюдения г. Якутска.

По результатам наблюдений суточный ход напряженности электрического поля имеет характер двойной волны – с двумя максимумами и

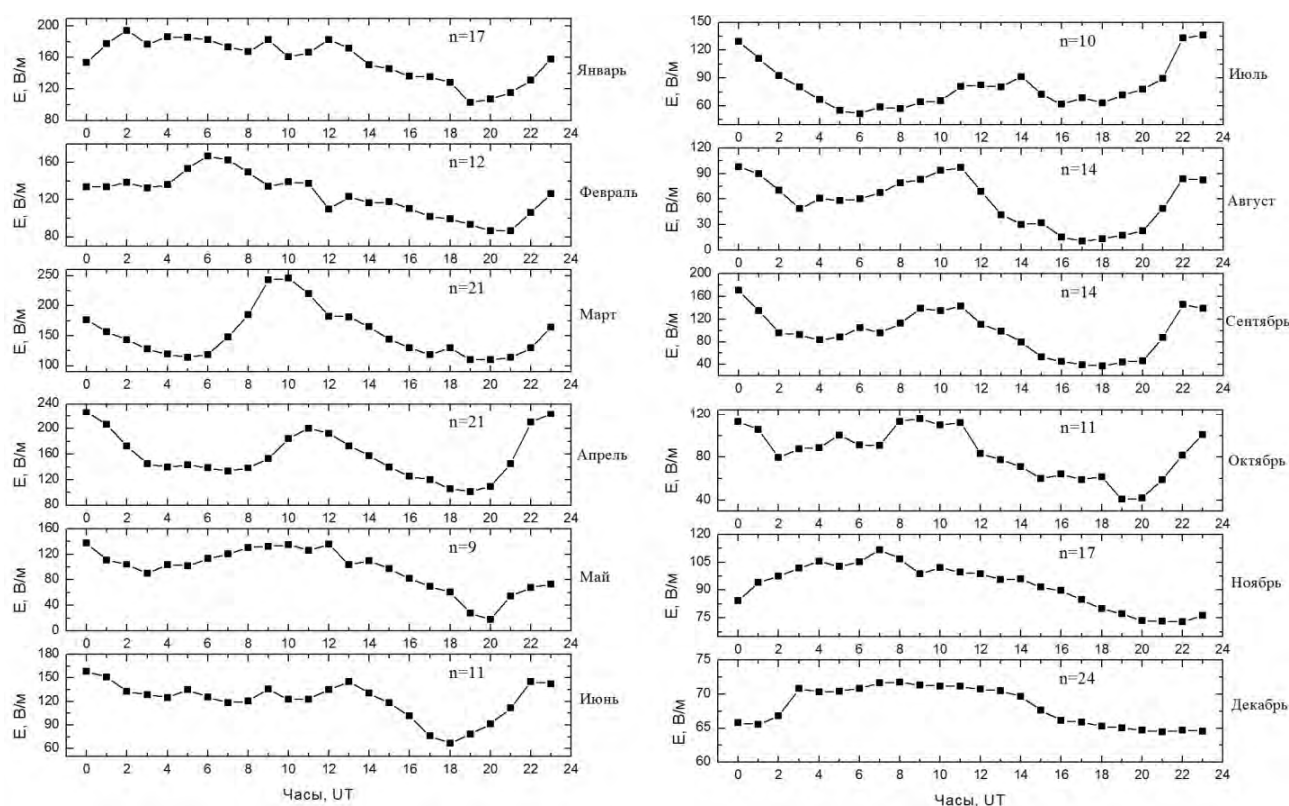


Рис. 1. Вариации напряженности атмосферного электрического поля для 12 месяцев 2010 года в пункте наблюдения г. Якутск. На графиках  $n$  соответствует числу дней, отобранных по критерию «хорошей» погоды

двумя минимумами для весенних, летних и осенних месяцев. Для зимних месяцев суточный ход представляет собой простую волну – с одним максимумом и одним минимумом.

С ноября по февраль суточные вариации имеют один размытый максимум (4–12 UT) и один минимум (20–22 UT). В весенние, летние и осенние месяцы наблюдаются два максимума (в 0 и 9–12 UT) и два минимума (4–6 и 18–20 UT). Второй максимум имеет тенденцию к смещению во времени в зависимости от сезона: в весенние месяцы он наблюдается в 9–11 UT, в летние смещается к 10–12 UT, в осенние возвращается к 9–10 UT. Подобный суточный ход вариаций напряженности поля по месяцам стабильно наблюдается из года в год за период наблюдений 2009–2013 гг. Обращает внимание на себя тот факт, что в суточном ходе напряженности электрического поля не наблюдается «классической» кривой «Карнеги» с минимумом в 4 UT и максимумом в 18–20 UT. Причиной такого расхождения могут быть разные факторы. На вариации электрического поля могут оказывать значительное влияние локальные факторы, такие как, например, загрязнение воздуха и, как следствие, увеличение его проводимости, что в свою очередь напрямую влияет на значение напряженности поля в данной области (проводимость зависит от концентрации легких и тяжелых ионов в атмосфере [27]).

В работах [28–30] отмечался антропогенный фактор, обусловленный изменением уровня загрязненности воздуха в ряде крупных городов. Подобные различия обнаруживаются и в наших измерениях. На рис. 2 представлен график секундных значений напряженности поля за одну неделю 14–20 марта 2011 г.

Хорошо видно, что в субботу и воскресенье абсолютные значения напряженности поля не выходят за 160 В/м, в то время как в остальные дни недели напряженность поля испытывает значительные вариации, приходящиеся на дневные и вечерние часы местного времени: с 10 до 22 ч. (00–12 UT). Однако даже такие изменения не нарушают общего хода напряженности поля. Практически во все дни наблюдается устойчивый максимум (6–8 UT) и минимум (19–21 UT). Наблюдаемый суточный ход напряженности поля в отдельные дни недели хорошо совпадает с суточным ходом, построенным по усредненным за час данным для этого месяца.

Как приводится в [31], локальные факторы также могут влиять на форму кривой суточных вариаций напряженности поля. При анализе вариаций поля и основных метеорологических параметров атмосферы (температура воздуха, атмосферное давление, относительная влажность, скорость и направление ветра) корреляции между ними не обнаружено.

Это хорошо видно на рис. 3, где показаны вариации напряженности электрического поля в двух пунктах наблюдения, разнесенных на 4 км, и основных метеорологических параметров атмосферы. Второй пункт наблюдения атмосферного электрического поля расположен на спектрографе космических лучей ИКФИА СО РАН (пригород г. Якутска) (N61°59', E129°41') и функционирует с 2011 г. Корреляции электрического поля с метеопараметрами во время «хорошей погоды» не обнаружено. Таким образом, характер наблюдаемых суточных вариаций не связан с изменением исключительно локальных факторов.

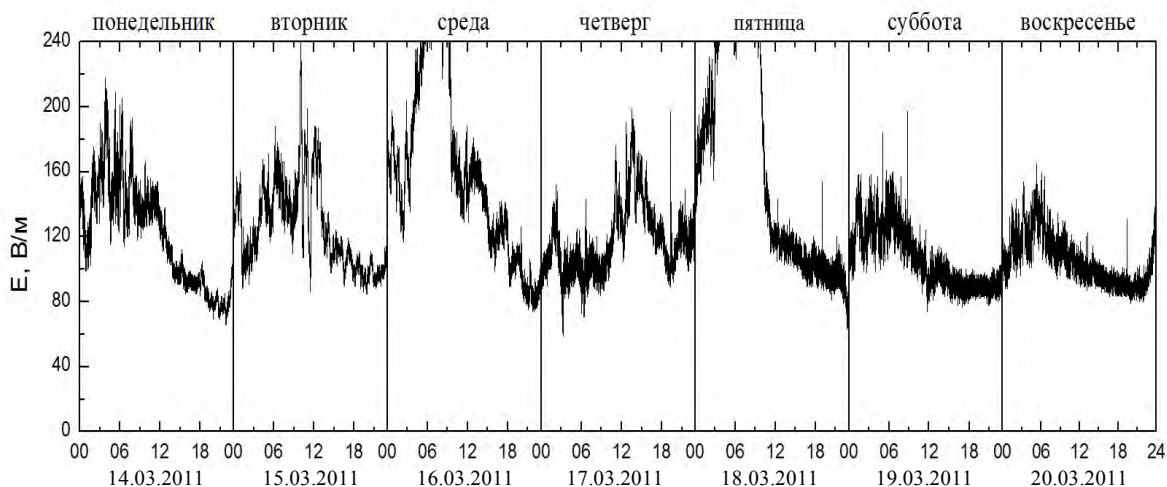


Рис. 2. Секундные значения напряженности атмосферного электрического поля за одну неделю 14–20 марта 2011 г. в Якутске

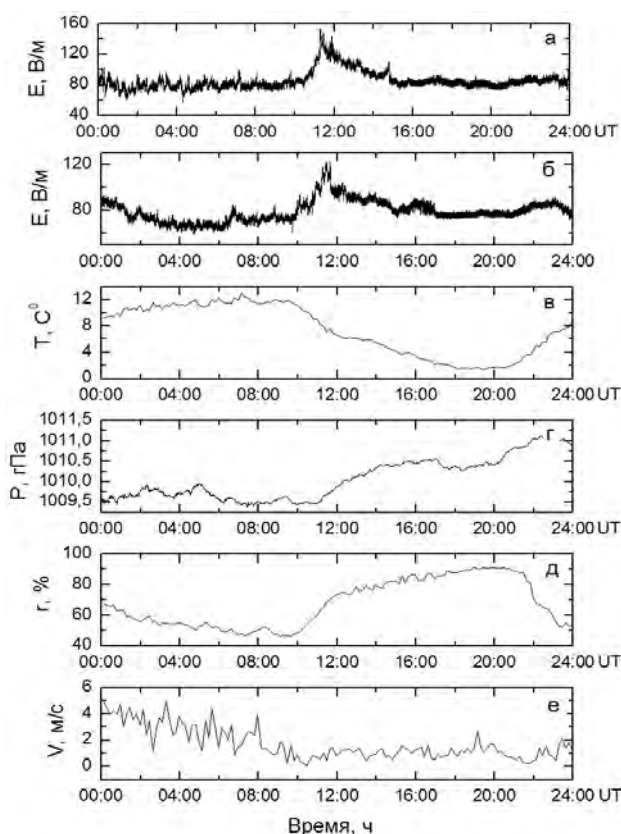


Рис. 3. Суточный ход вариаций секундных значений напряженности электрического поля (В/м) в условиях «хорошей» погоды 1 сентября 2012 года, в пунктах наблюдения г. Якутск (а) и Спектрограф космических лучей (б). Метеорологические параметры атмосферы: температура воздуха (градусы Цельсия) (в), атмосферное давление (гПа) (г), относительная влажность воздуха (%) (д), скорость ветра (м/с) (е)

Для разных пунктов наблюдения существует какой-то общий фактор, определяющий их суточный ход. Следует отметить, что подобный

(или близкий к нему) характер суточных вариаций (два максимума и два минимума) атмосферного электрического поля также отмечался в работах [2, 32].

Таким фактором, по нашему мнению, могут быть изменения электронной концентрации слоя F2 ионосферы Земли, индикатором которого являются вариации критической частоты слоя F2 ионосферы. Унитарная вариация критической частоты F2, описанная в работе [33], представлена на рис. 4, также имеет два максимума в 00 и 12 UT и два минимума в 04 и 16–18 UT для периода минимума солнечной активности. То, что изменения параметров ионосферы влияют на атмосферное электрическое поле, в настоящее время считается хорошо установленным фактом [34, 35], вытекающим из современных моделей глобальной электрической цепи (ГЭЦ) [13, 15, 16]. В нашем случае подобное сходство суточных вариаций нуждается в более глубоком и детальном анализе для того, чтобы уверенно отождествить вариации атмосферного электричества, связанные с вариациями параметров ионосферы.

За весь период наблюдений атмосферного электрического поля только в летние месяцы 2013 г. наблюдались вариации суточного хода, близкие к «классической» кривой «Карнеги». В осенние месяцы 2013 г. суточный ход вернулся к своей «типичной» форме. На рис. 5 показан процесс изменения суточного хода в августе–сентябре для 6-ти отдельных дней из интервала 9 августа–14 сентября. Существенные изменения вариаций поля наблюдаются для периода времени с 12 до 22 ч. мирового времени, при этом оба максимума, сформировавшиеся 8 сентября смещаются с 12 UT к 10–11 UT и с 22–23 UT к 00 UT.

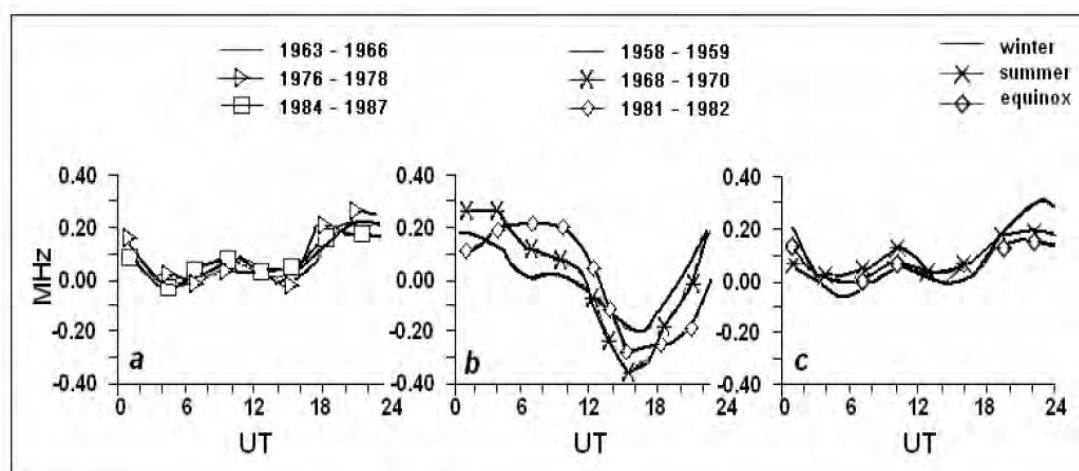


Рис. 4. Унитарная вариация f0F2, усредненная за годы минимумов (а), максимумов (б), для трех циклов солнечной активности, и в зависимости от сезона (с) [33]

## ВАРИАЦИИ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В ЯКУТСКЕ

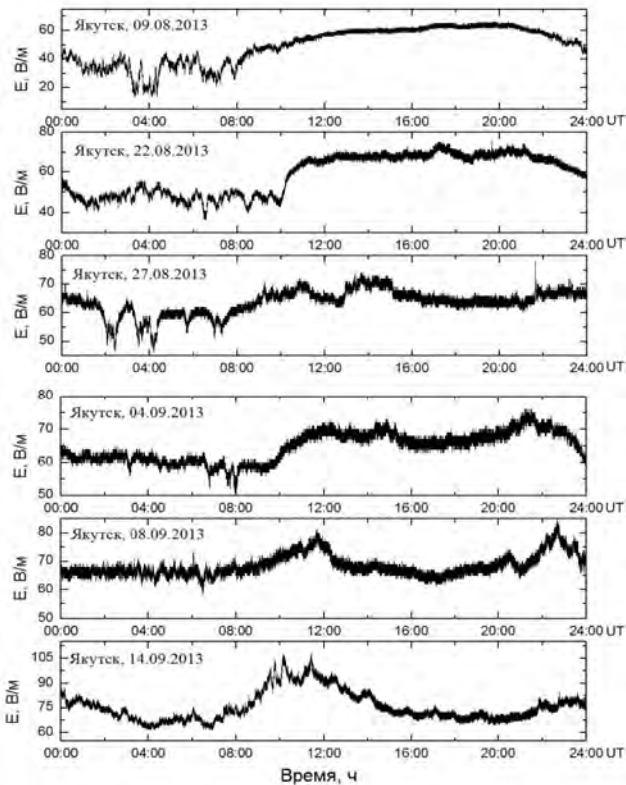


Рис. 5. Процесс изменения характера суточного хода в августе – сентябре для 6-ти отдельных дней (сверху вниз) в интервале с 9 августа по 14 сентября 2013 г.

На рис. 6 показан график сезонных вариаций напряженности электрического поля для 2011 г. График построен по усредненным по месяцам значениям напряженности поля. Сезонный ход напряженности поля имеет максимумы в весенние и осенние месяцы и минимумы, приходящиеся на летние и зимние месяцы. По литературным данным [35] в сезонных вариациях отмечается только один минимум – в летние месяцы, зимой же, напротив, наблюдается увеличение напряженности поля. В нашем случае, наблюдаемый зимний минимум (рис. 6) можно, с определенной уверенностью, связать с уменьшением напряженности поля во время наступающих зимой морозных (ледяных) туманов в пункте наблюдения.

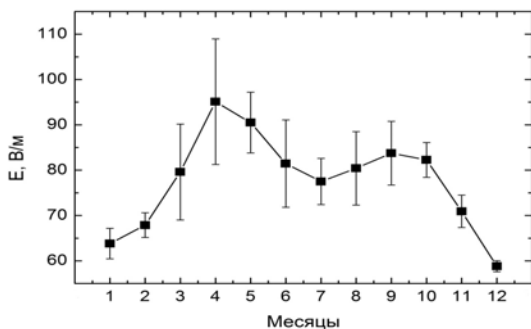


Рис. 6. График сезонных вариаций напряженности электрического поля в 2011 г.

Вариации среднемесячных значений напряженности атмосферного электрического поля в «хорошую» погоду за период наблюдений 2009–2013 гг. показаны на рис. 7а. Из графика видно, что сезонные вариации повторяются из года в год, минимумы и максимумы практически не смещаются по месяцам.

Наблюдается наличие четкого тренда к уменьшению амплитуды сезонных вариаций напряженности поля и общих значений величины напряженности поля. Подобный тренд при достаточной статистике наблюдений можно было бы связать с изменением солнечной активности [36], которая в период 2009–2013 гг. находится в фазе возрастания (рис. 7б).

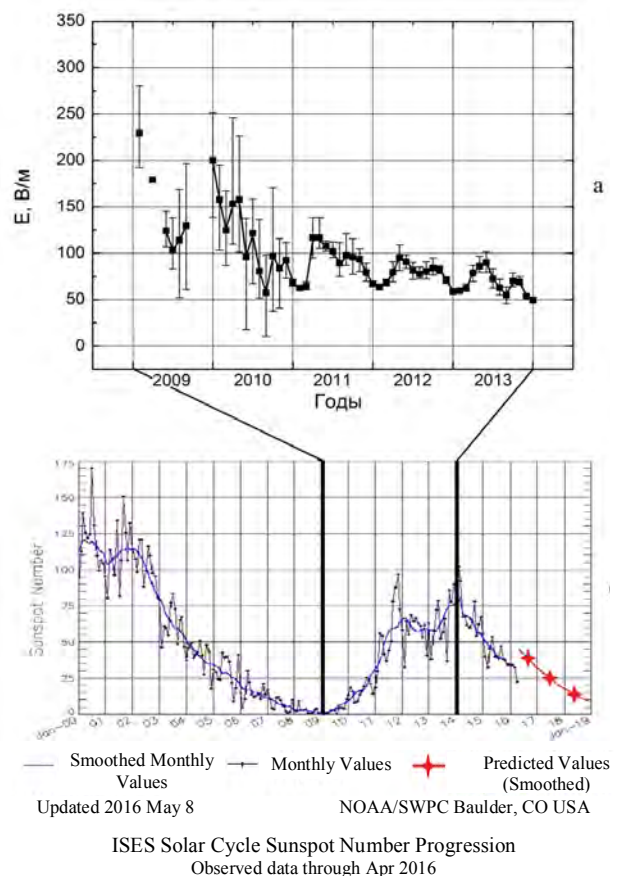


Рис. 7. Вариации среднемесячных значений напряженности атмосферного электрического поля по наблюдениям (2009–2013 гг.) в Якутске в условиях «хорошей» погоды (а) и количество пятен на солнце (б), характеризующее уровень солнечной активности [36]

### Выводы

По наблюдениям (2009–2013 гг.) атмосферного электрического поля в г. Якутске, показано, что суточный ход имеет характер двойной волны с двумя максимумами и двумя минимумами для весенних, летних и осенних месяцев. Для зимних месяцев ход представляет собой простую полу-волну с одним максимумом и одним минимумом.

В качестве возможного фактора, определяющего форму кривой суточного хода напряженности электрического поля, могут являться вариации критической частоты слоя F2 ионосферы.

Сезонный ход напряженности поля имеет максимумы в весенние и осенние месяцы и минимумы, которые приходятся на летние и зимние месяцы.

Годовые вариации напряженности поля в «хорошую» погоду за период наблюдений повторяются из года в год, минимумы и максимумы практически не смещаются по месяцам.

Обнаружено, что вариации напряженности электрического поля имеют тренд к уменьшению амплитуды сезонных вариаций напряженности поля и общих значений величины напряженности.

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: 15-45-05005 р\_восток\_а, 15-45-05135 р\_восток\_а, а также гранта главы Республики Саха (Якутия) для молодых ученых за 2016 г.*

#### Литература

1. *Mauchly S.J.* Studies in atmosphere electricity based on observations made on the Carnegie (1915-1921) // *Researches of the Department of Terrestrial Magnetism.* – Washington: Carnegie Institution, Publ. – 1926. – No. 175. – P. 385–424.
2. *Имянитов И.М.* Электричество свободной атмосферы / И.М. Имянитов, Е.В. Чубарина. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 240 с.
3. *Имянитов И.М.* Современное состояние исследований атмосферного электричества / И.М. Имянитов, Н.С. Шифрин // *Успехи физических наук.* – 1962. – Т. 76, Вып. 4. – С. 593–642.
4. *Парамонов Н.А.* Широтный ход элементов атмосферного электричества // *Тр. Главн. геофиз. обсерватории им. А.И. Воейкова.* – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – Т. 146. – С. 65–70.
5. *Тверской П.Н.* Атмосферное электричество. – Л.: Гидрометеиздат, 1949. – С. 252.
6. *Markson R.* The global circuit intensity: Its measurement and variation over the last 50 years // *Bull. Am. Met. Soc.* – 2007. – P. 223–241. – Doi: 10.1175/BAMS-88-2-223.
7. *Rycroft M.J.* An overview of Earth's global electric circuit and atmospheric conductivity / M.J. Rycroft, R.G. Harrison, K.A. Nicoll, E.A. Mareev // *Space Sci. Rev.* – 2008. – Vol. 137, № 1-4. – Doi: 10.1007/s11214-008-9368-6.
8. *Стационарные и нестационарные модели глобальной электрической цепи: корректность, аналитические соотношения, численная реализация* / А.В. Калинин, Н.Н. Слюняев, Е.А. Мареев, Жидков А.А. // *Изв. РАН. ФАО.* – 2014. – Т. 50, № 3. – С. 355–364.
9. *Mallios S.A.* Charge transfer to the ionosphere and to the ground during thunderstorms / S.A. Mallios, V.P. Pasko // *J. Geophys. Res.* – 2012. – Vol. 117. – A08303. – Doi:10.1029/2011JA017061.
10. *Mareev E.A.* Lifetime of the thunderstorm electric energy in the global atmospheric circuit and thunderstorm energy characteristics / E.A. Mareev, S.V. Anisimov // *Atmos. Res.* – 2009. – Vol. 91, N 1-4. – P.161–164.
11. *Mareev E.A.* On the role of transient currents in the global electric circuit / E.A. Mareev, S.A. Yashunin, S.S. Davydenko, T.C. Marshall, M. Stolzenburg, C.R. Maggio // *Geophys. Res. Lett.* – 2008. – Vol. 35. – Doi:10.1029/2008GL034554.
12. *Rycroft M.J.* Electromagnetic atmospheric-plasma coupling: The global atmospheric electric circuit / M.J. Rycroft, R.G. Harrison // *Space Sci. Rev.* – 2011. – Vol. 137, N 1-4. – Doi: 10.1007/s11214-011-9830-8.
13. *Tinsley B.A.* The global atmospheric electrical circuit and its effects on cloud micro-physics // *Rep. Progr. Phys.* – 2008. – Vol. 71. – Doi:10.1088/0034-4885/71/6/066801.
14. *Wilson C.T.R.* Investigations on lightning discharges and on the electric field of thunderstorms // *Phil. Trans. Roy. Soc. A* 221. – 1920. – P. 73–115.
15. *Williams E.R.* The global electrical circuit // *A Review Atmos. Res.* – 2009. – Vol. 91. – P. 140–152.
16. *Williams E.R.* Progress on the Global Electrical Circuit / E.R. Williams, E.A. Mareev // *Atmos. Res.* – 2013. Vol. 95. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05.019>. – 10.05.2016.
17. *Анисимов С.В.* Геофизические исследования глобальной электрической цепи / С.В. Анисимов, Е.А. Мареев // *Физика Земли.* – 2008. – № 10. – С. 8–18.
18. *Мареев Е.А.* Достижения и перспективы исследований глобальной электрической цепи // *Успехи физических наук.* – 2010. – Т.180, № 5. – С. 527–534.
19. *Критерии формирования и сравнительный анализ глобальных атмосферных электрических цепей планет Солнечной системы* / Н.В. Ильин, Ф.А. Кутерин, Е.А. Мареев, М.В. Шаталина // *Сб. тр. VII Всерос. конф. по атмосферному электричеству.* – СПб., 2012. – С. 88–90.
20. *Anisimov S.V.* Space charge and aereoelectric flows in the exchange layer: An experimental and numerical study / S.V. Anisimov, S.V. Galichenko, N.M. Shikhova // *Atmos. Res.* – 2014. – Vol. 135/136. – P. 244–254.
21. *Anisimov S.V.* Aereoelectric structures and turbulence in the atmospheric boundary layer / S.V. Anisimov, E.A. Mareev N.M. Shikhova et al. // *Nonlinear Process. Geophys.* – 2013. – Vol. 20, № 5. – P. 819–824.
22. *Редин А.А.* Электродинамическая модель конвективно-турбулентного приземного слоя атмосферы / А.А. Редин, Г.В. Куповых, А.С. Болдырев // *Изв. ВУЗ. Сер. Радиофизика.* – 2013. – Т. 56, № 11/12. – С. 820–828.

23. *К вопросу* о мониторинге электрического поля атмосферы по данным наземных наблюдений / А.С. Болдырев, К.А. Болдырева, Г.В. Куповых и др. // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 6. – С. 875.

24. *О роли* конвективного генератора в глобальной электрической сети / О.В. Мареева, Е.А. Мареев, А.В. Калинин, А.А. Жидков // *Солнечно-земная физика*. – 2012. – № 21(134). – С. 115–118.

25. *Денисенко В.В.* Проникновение электрического поля из приземного слоя атмосферы в ионосферу / В.В. Денисенко, Е.В. Помозов // *Солнечно-земная физика*. – 2010. – № 16. – С. 70–75.

26. *Mareev E.A.* Variation of the global electric circuit and ionospheric potential in a general circulation model / E.A. Mareev, E.M. Volodin // *Geophys. Res. Lett.* – 2014. – Vol. 41, № 24. – P. 9009–9016.

27. *Кировуыкх G.V.* Negative space charge in surface layer // *Proc. 10th Int. Conf. On Atm. El.* – Osaka, 1996. – P. 164–167.

28. *Гордюк В.П.* Связь электрических характеристик атмосферы с загрязненностью воздуха аэрозолем по данным измерений в обсерватории Мирный // *Атмосферное электричество: тр. III Всесоюз. симп.* – Тарту, 1986. – С. 70–73.

29. *Семенов К.А.* Связь элементов атмосферного электричества с загрязнением воздуха //

*Атмосферное электричество: тр. I Всесоюз. симп.* – Л., 1976. – С. 75–79.

30. *Филиппов А.Х.* Влияние выбросов целлюлозно-бумажного производства на электрическое поле атмосферы / А.Х. Филиппов, А.А. Кречетов // *Тр. ГГО*. – Л.: ГИМИЗ, 1981. – Вып. 442. – С. 96–102.

31. *Колоколов В.П.* О связях напряженности электрического поля на океанах с метеорологическими величинами / В.П. Колоколов, Ю.В. Шаманский // *Тр. ГГО*. – Л.: ГИМИЗ. – 1984. – Вып. 474. – С. 94–98.

32. *Reiter R.* Fields, currents and aerosols in the lower troposphere. *Scientific Research Reports // Natural Sciences Series*. – 1985. – Vol. 71. – P. 714.

33. *Унитарная* вариация f0F2 и солнечная активность / В.В. Кузнецов, В.В. Плоткин, Г.В. Нестерова, И.И. Нестерова // *Геомагнетизм и аэрономия*. – 1998. – Т. 38, № 2. – С. 107–111.

34. *Мареев Е.А.* Достижения и перспективы исследований глобальной электрической цепи // *Успехи физических наук*. – 2010. – Т. 180, № 5. – С. 527–534.

35. *Парамонов Н.А.* О годовом ходе градиента атмосферно-электрического потенциала // *ДАН СССР*. – 1950. – Т. 71, № 1. – С. 37–38.

36. *Space Weather Prediction Center* [Электронный ресурс] // URL: <http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle>. – 10.05.2016.

*Поступила в редакцию 10.05.2016*

УДК 314.012:332.135 (571.56)

## **Географические аспекты развития народонаселения в Республике Саха (Якутия): проблемы территориальной концентрации и расселения**

Т.С. Мостахова

*Отдел региональных экономических и социальных исследований ЯНЦ СО РАН, г. Якутск*

*Наличие самой большой территории среди субъектов России обуславливает несомненную значимость географического фактора в развитии всех социально-экономических процессов в Республике Саха (Якутия). Географические аспекты развития народонаселения присутствуют и в развитии народонаселения региона, проявляясь, прежде всего, в его пространственном размещении. Специфика территориальной дифференциации расселения в регионе выражается в усилении концентрации населения в рамках модели «центр-периферия». Внутрорегиональные центр-периферийные градиенты остаются основными характеристиками современного расселения.*

*В отличие от городского расселения динамике сельских поселений, которые определяют устойчивость поселенческого каркаса, свойственно сокращение числа населенных пунктов. Современные рыночные условия значительно повлияли на демографическое развитие сельских поселений. Сельские территории испытывают сильное экономическое сжатие, вызванное такими процессами, как рост*

МОСТАХОВА Татьяна Семеновна – д.э.н., в.н.с., mostakhovats@mail.ru.