

УДК 551.594

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ *

**И. Н. Панчишкина, Г. Г. Петрова, А. И. Петров,
Е. В. Егоров, А. В. Шевченко, А. И. Купинская**

Южный федеральный университет, 344000, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 5.

E-mail: georgpu@rambler.ru

По результатам измерений вблизи земной поверхности обнаружены нелинейные эффекты, связанные с зависимостью электропроводности от напряженности электрического поля. Это проявляется в утрате пропорциональности плотности тока проводимости от напряженности, причем нелинейность проявляется заметнее при низких значениях электропроводности. На основе полученных данных построены эмпирические ряды регрессии и получены уравнения зависимости полярных электропроводностей от напряженности электрического поля. На интервале резкого снижения значений полярных электропроводностей при многократном усилении напряженности электрического поля их взаимосвязь аппроксимируются линейной функцией с высоким уровнем достоверности.

Ключевые слова: атмосферно-электрические измерения, электродный эффект, полярные электропроводности воздуха, плотность тока проводимости в атмосфере.

© Панчишкина И. Н. и др., 2018

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), гранты 16-05-00930_а и 17-05-41121 РГО_а

Исследование баланса токов в системе «атмосфера–земля» является одной из актуальных задач атмосферного электричества, решение которой необходимо в рамках развития теории существования Глобальной электрической цепи. Особый научный интерес представляют экспериментальные исследования вертикальных атмосферно-электрических токов различной природы вблизи земной поверхности, поскольку теоретическое описание процессов переноса заряда осложняется тесной взаимосвязью физических параметров в этом слое атмосферы, а также влиянием границы раздела двух сред «атмосфера–земля».

При описании электрических процессов в атмосфере следует иметь в виду, что при протекании тока проводимости вблизи земной поверхности можно обнаружить нелинейные эффекты, обусловленные близостью электрода, в качестве которого выступает проводящая земная поверхность [1]-[2]. В настоящей работе исследуется зависимость плотности тока проводимости в приземном слое от напряженности электрического поля. Для анализа выбраны данные измерений, полученные в пунктах, в которых в период экспедиций наблюдались наиболее высокие значения напряженности электрического поля. Две измерительные площадки находились в Ростовской области. Это – опытные поля Донского зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства (рис.1 а) и окраина г. Ростова-на-Дону (рис.1 б).



Рис. 1. Общий вид измерительной площадки: а) опытные поля ДЗНИИСХ, Ростовская область; б) окраина г.Ростова-на-Дону; в) п.Чегет, Приэльбрусье; г) плато Шаджатмаз, КВНС ИФА РАН

Два других пункта наблюдений расположены в высокогорной зоне: на пике Чегет (3500 м) на экспериментальном полигоне Высокогорного геофизического института (рис.1в) и на плато Шаджатмаз (2100 м) на территории Кисловодской высокогорной научной станции Института физики атмосферы им А.М.Обухова РАН (рис.1г).

Во всех пунктах наблюдений воспроизводился один и тот же измерительный комплекс [3], что позволяет проводить сравнение результатов, полученных в разное время в различных пунктах. Использовались традиционные методы измерения: удельные полярные электропроводности воздуха λ_+ и λ_- измерялись прибором «Электропроводность-2» системы ГГО, измерения напряженности

электрического поля атмосферы на уровне земли проводились с помощью флюксметра системы ГГО «Поле-2», потенциалы ϕ на высотах 1, 2 и 3 метра измерялись методом радиоактивного коллектора. По значениям потенциалов рассчитывалась напряженность электрического поля E атмосферы. Плотности полярных составляющих тока проводимости $j_{\lambda+}$ и $j_{\lambda-}$ рассчитаны косвенно как произведение полярных удельных электропроводностей воздуха и напряженности электрического поля на соответствующей высоте:

$$j_{\lambda+} = \lambda_+ E, \quad j_{\lambda-} = \lambda_- E.$$

Обнаружено, что при усилении поля поток положительных ионов увеличивается пропорционально напряженности электрического поля, а поток отрицательных ионов линейно растет лишь при сравнительно низких напряженностях поля, затем его рост прекращается. Это происходит в связи с тем, что положительные ионы, появляются вблизи земной поверхности не только за счет ионизации: они приносятся в этот слой из других более высоких слоев атмосферы. Количество отрицательных ионов, приносимых в этот слой из нижних слоев, ограничено из-за близости земной поверхности.

Возникает дефицит отрицательных ионов, их концентрация снижается, что приводит к уменьшению отрицательной электропроводности и плотности тока ионов этой полярности. При изменении знака поля обнаруживается снижение концентрации положительных ионов. На рис. 2 приведены эмпирические ряды регрессии плотности полярных токов проводимости по напряженности электрического поля атмосферы.

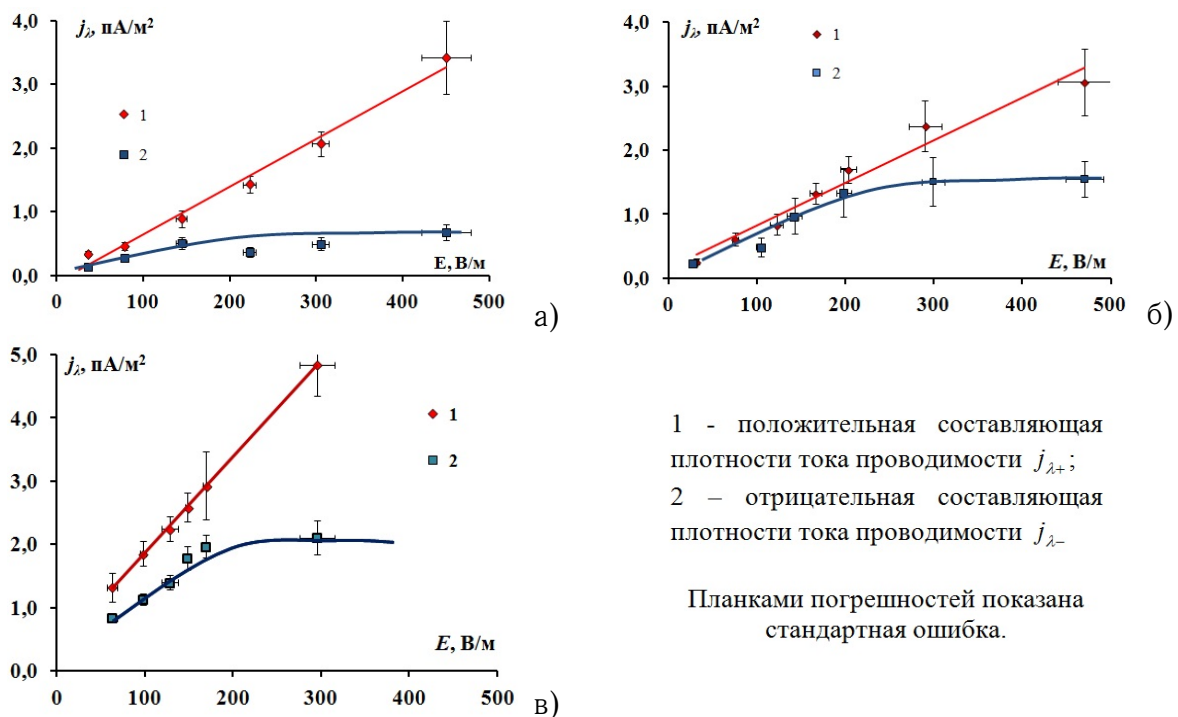


Рис. 2. Эмпирические ряды регрессии плотности полярных токов проводимости по напряженности электрического поля атмосферы: а) опытные поля ДЗНИИСХ, Ростовская область; б) окраина г. Ростова-на-Дону; в) п. Чегет, Приэльбрусье

Можно заметить, что при усилении электрического поля нормальной полярности выше 200-300 В/м в атмосфере вблизи земной поверхности, наблюдается переход в режим насыщения отрицательной компоненты плотности тока проводимости. Следует отметить, что в разных пунктах наблюдений различаются угол наклона омического участка и значения плотности тока насыщения, что указывает на различия мощности ионизаторов воздуха в пунктах измерений.

Причиной отклонения от закона Ома в приземной атмосфере является зависимость электропроводности от напряженности электрического поля. Характер этой связи необходимо учитывать при построении моделей электродного слоя атмосферы.

Для проведения исследования зависимости полярных электропроводностей от напряженности электрического поля в приземном слое атмосферы отобраны массивы данных, полученные в июле-августе 2010 года в Приэльбрусье на экспериментальном полигоне Высокогорного геофизического института (пик Чегет) и в августе 2018 на территории Кисловодской высокогорной научной станции Института физики атмосферы им А.М.Обухова РАН (плато Шаджатмаз).

Во время измерений на Чегете в июле-августе 2010 года наблюдалось большое количество гроз, что обусловило значительные изменения напряженности электрического поля (от 2500 В/м до 15000 В/м). Типичные вариации полярных электропроводностей при значительных колебаниях напряженности атмосферного электрического поля показаны на рис. 3. К анализу привлекались значения напряженности электрического поля и полярных электропроводностей атмосферы, полученные для минутных периодов осреднения.

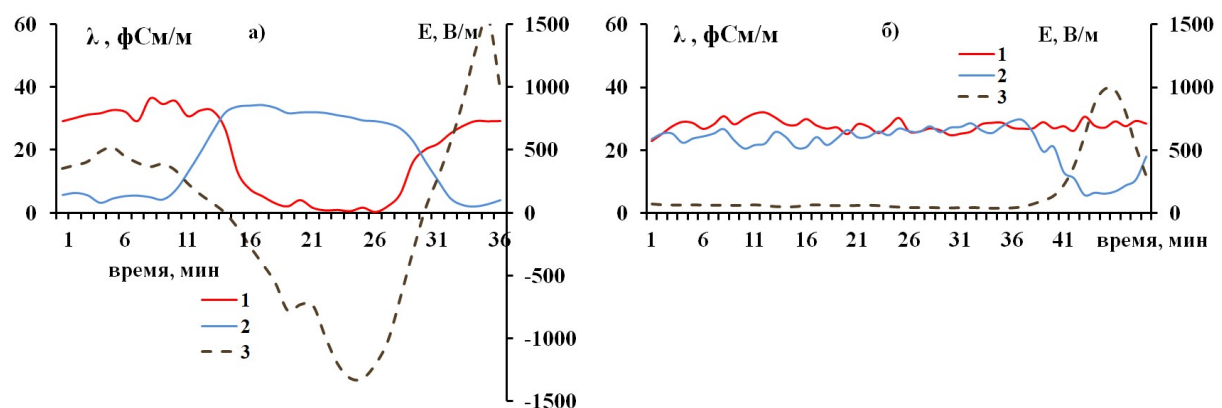


Рис. 3. Вариационные ряды: (1) – положительной и (2) – отрицательной электропроводностей, (3) – напряженности электрического поля атмосферы п. Чегет, Приэльбрусье; а) 13-14 ч, 10 августа 2010 г. б) 16-17 ч, 11 августа 2010 г.

Обнаружено, что в результате роста положительных значений напряженности электрического поля отрицательная электропроводность резко снижается (рис.3а), а при увеличении напряженности электрического поля обратного направления наблюдается существенное снижение положительной электропроводности (рис.3б). Аналогичное поведение полярных электропроводностей наблюдалось во время значительных по амплитуде колебаний напряженности электрического поля во время измерений на плато Шаджатмаз (рис.4).

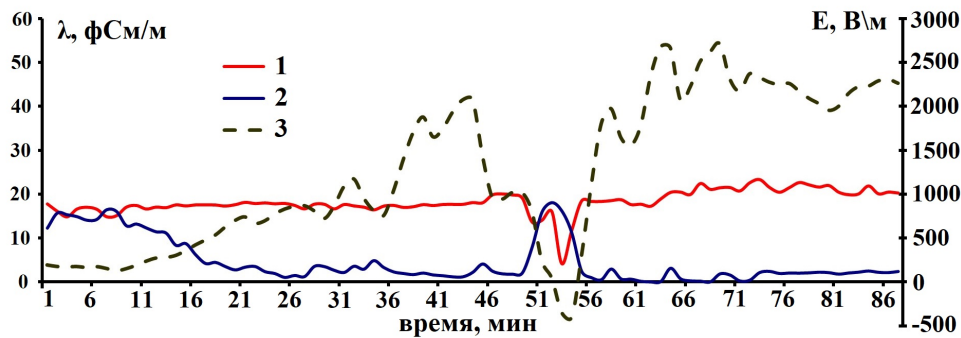


Рис. 4. Вариационные ряды: (1) – положительной и (2) – отрицательной электропроводностей, (3) – напряженности электрического поля атмосферы. Плато Шаджатмаз, 13-14 ч, 7 августа 2018 г.

Для выяснения характера зависимости полярных электропроводностей от напряженности электрического поля атмосферы построены линии регрессии и получены их уравнения (рис.5). На интервале резкого снижения полярных электропроводностей их зависимость от напряженности электрического поля аппроксимируются линейной функцией с высоким уровнем достоверности. На графиках этот участок выделен сплошной линией.

Уравнения линии регрессии полярных электропроводностей по напряженности электрического поля атмосферы и критерий достоверности аппроксимации, полученные по данным измерений на пике Чегет, для отрицательной электропроводности приведены на рис. 5 а, для положительной – на рис. 5б.

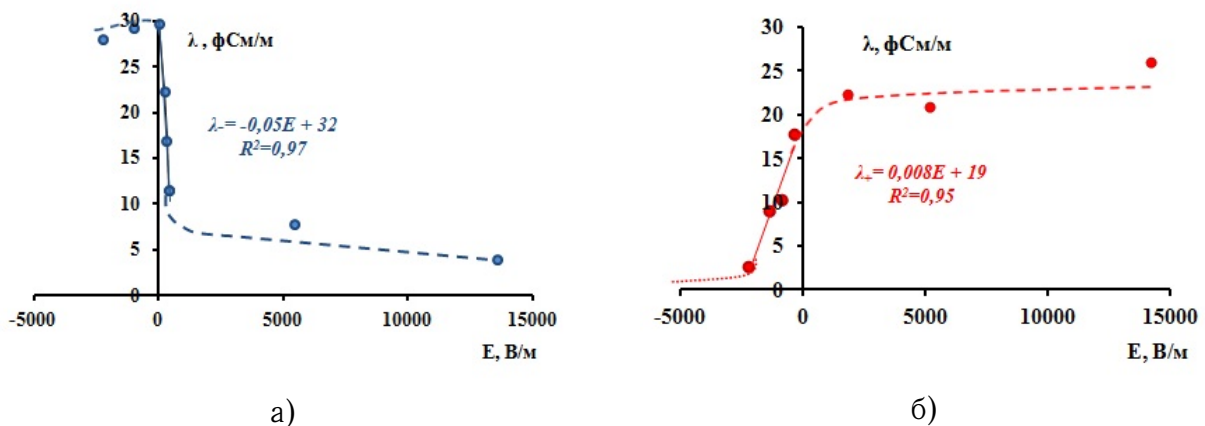


Рис. 5. Эмпирические ряды и линии регрессии электропроводностей по напряженности электрического поля атмосферы. Пик Чегет, 14-15 ч, 30 июля 2010 г.: (а) – отрицательной и (б) – положительной

При измерениях на плато Шаджатмаз усиление напряженности электрического поля наблюдалось достаточно длительно, а обратное электрическое поле зарегистрировано в течение короткого промежутка времени, поэтому эмпирическая зависимость электропроводности от напряженности электрического поля атмосферы получена только для отрицательной электропроводности (рис.6).

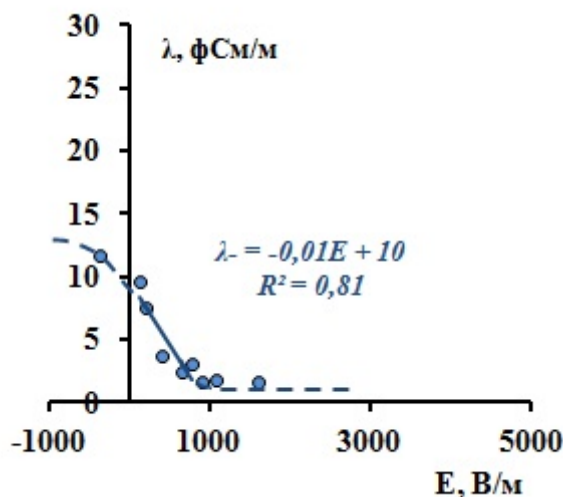


Рис. 6. Эмпирический ряд и линия регрессии отрицательной электропроводности по напряженности электрического поля атмосферы (плато Шаджатмаз) 13-14 ч, 7 августа 2018 г.

Выводы

Результаты экспериментальных исследований показывают, что в электродном слое наблюдаются нелинейные эффекты в процессе переноса заряда под действием электрического поля при резких колебаниях напряженности. Вблизи земной поверхности при увеличении значений напряженности электрического поля в десятки раз обнаруживается снижение на порядок значений электропроводности.

Для исследуемых периодов переход в режим насыщения отрицательной компонентой плотности тока проводимости начинается при напряженности электрического поля порядка 200-300 В/м.

На интервале резкого снижения полярных электропроводностей их зависимость от напряженности электрического поля аппроксимируются линейной функцией с высоким уровнем достоверности.

Список литературы

- [1] Панчишкина И. Н. и др., "Результаты экспедиционных исследований выполнимости закона Ома в приземной атмосфере", *Материалы Третьей Всероссийской конференции «Глобальная электрическая цепь»*, Филигрань, Ярославль, 2017, 28–29. [Panchishkina I. N. et al., "Rezultaty ekspeditsionnykh issledovaniy vupolnimosti zakona Oma v prizemnoy atmosfere", *Materialy Tret'ey Vserossiyskoy konferentsii «Global'naya elektricheskaya tsep'»*, Filigran', Yaroslavl', 2017, 28–29].
- [2] Petrov A. I., Petrova G. G., Panchishkina I. N., "Profiles of polar conductivities and of radon-222 concentration in the atmosphere by stable and labile stratification of surface layer", *Atmospheric Research*, **91** (2009), 206–214.
- [3] Петров А. И. и др., "Измерительный комплекс для исследования электричества приземного слоя атмосферы", *Известия высших учебных заведений, Сев.- Кав. рег., Естест. науки*, 2010, № 3, 47–52. [Petrov A. I. et al., "Izmeritel'nyy kompleks dlya issledovaniya elektrichestva prizemnogo sloya atmosfery.", *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy, Sev.- Kav. reg., Estest. nauki*, 2010, № 3, 47–52].

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Панчишкина И.Н. и др. Результаты экспедиционных исследований выполнимости закона Ома в приземной атмосфере // *Материалы Третьей Всероссийской конференции «Глобальная электрическая цепь»*. Ярославль: Филигрань. 2017. С. 28–29.
- [2] Petrov A. I., Petrova G. G., Panchishkina I. N. Profiles of polar conductivities and of radon-222 concentration in the atmosphere by stable and labile stratification of surface layer // *Atmospheric Research*. 2009. no. 91. pp. 206–214.
- [3] Петров А.И. и др. Измерительный комплекс для исследования электричества приземного слоя атмосферы // *Известия высших учебных заведений. Сев.- Кав. рег. Естест. науки*. 2010. №3. С. 47–52.

Для цитирования: Панчишкина И.Н., Петрова Г.Г., Петров А.И., Егоров Е.В., Шевченко А.В., Купинская А.И. Нелинейные эффекты в приземной атмосфере по результатам атмосферно-электрических измерений // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2018. № 5(25). С. 34-41. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-25-5-34-41

For citation: Panchishkina I. N., Petrova G. G., Petrov A. I., Egorov E. V., Shevchenko A. V., Kupinskaya A. I. Nonlinear effects in the surface atmosphere based on the atmospheric-electrical measurements results, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2018, **25**: 5, 34-41. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-25-5-34-41

Поступила в редакцию / Original article submitted: 09.12.2018

DOI: 10.18454/2079-6641-2018-25-5-34-41

MSC 86A10

NONLINEAR EFFECTS IN THE SURFACE ATMOSPHERE BASED ON THE ATMOSPHERIC-ELECTRICAL MEASUREMENTS RESULTS¹

**I. N. Panchishkina, G. G. Petrova, A. I. Petrov,
E. V. Egorov, A. V. Shevchenko, A. I. Kupinskaya**

Southern Federal University, 344000, Rostov-on-Don, Zorge st., 5, Russia

E-mail: georgpu@rambler.ru

Proceeding from the results of measurements near the earth's surface, nonlinear effects associated with the dependence of electrical conductivity on the electric field strength have been observed. This is manifested in the loss of proportionality of the conductivity current density from the field intensity, and the nonlinearity manifests itself more noticeably at low values of electrical conductivity. Based on the data obtained, empirical regression series have been constructed and equations of the dependence of polar electrical conductivity on the electric field strength have been obtained. In the interval of a sharp decrease in the values of polar conductivities with multiple amplification of the electric field strength, their interrelation is approximated by a linear function with a high level of reliability.

Key words: atmospheric-electrical measurements, electrode effect, polar electric conductivities, conduction current density of the atmosphere.

© Panchishkina I. N. et al., 2018

¹The paper is performed with support of Russian Foundation for Fundamental Research Grants № 16 05 00930_a, № 17 05 41121 RGS_a.