

Электрическое поле в приземном слое атмосферы: измерения и прогнозирование его вариаций

В.А. Шаповалов¹, А.А. Аджиева², М.С. Нирова³, Х.А. Тумгоева⁴

¹*Высокогорный геофизический институт, Нальчик*

²*Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова*

³*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова*

⁴*Ингушский государственный университет, Магас*

Аннотация: В данной статье рассматривается вопрос особенностей измерения и прогнозирования изменений приземной напряженности электрического поля в атмосфере. Приводятся результаты измерений напряженности атмосферного электрического поля. Рассматриваются возможности прогнозирования изменений приземной напряженности электрического поля, включая использование численных моделей, а также использование результатов измерений как индикатора опасных явлений погоды. Обсуждаются перспективы использования прогнозирования вариаций приземной напряженности электрического поля для прогнозирования неблагоприятных погодных явлений и значимость мониторинга напряженности атмосферного электрического поля для понимания глобальных процессов изменения климата и влияния электрического поля на здоровье человека и окружающую среду. Подводятся некоторые итоги и отмечаются перспективы развития данной области исследований.

Ключевые слова: электрическое поле, приземный слой атмосферы, измерения, методы, прогнозирование, моделирование вариаций напряженности поля.

Атмосферное электрическое поле является одним из важнейших параметров окружающей нас среды, оказывая существенное влияние на разнообразные аспекты природы и человеческой деятельности. Это поле возникает из-за разнообразных процессов образования заряженных частиц, таких, как ионизация атмосферных молекул, электризация атмосферных аэрозолей и осадков, радиоактивность и космические лучи, и других, и играет ключевую роль в метеорологических и климатических явлениях. Атмосферное электрическое поле зависит от множества факторов, включая погодные условия, молниевые разряды, солнечную активность, геомагнитные бури, изменения в составе атмосферы, а также топографию, географическое положение, климатические условия и сезонные изменения [1, 2]. Изменения метеорологических условий, таких как влажность,

температура и скорость ветра, также оказывают влияние на электрическое поле в приземном слое атмосферы. Оно имеет сложную структуру и подвержено значительным вариациям и резким динамическим изменениям [3]. Его понимание играет важную роль не только в метеорологии, но и в климатологии, а также в оценке воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

В этой связи, напряженность электрического поля представляет собой интегральную характеристику состояния атмосферы, отражая сложное взаимодействие различных процессов, происходящих в атмосфере. Напряженность электрического поля в приземном слое атмосферы испытывает значительные суточные, 27-суточные и годовые вариации, а также возмущения, связанные с развитием облаков, особенно кучево-дождевых (грозовых). В среднем, она составляет около 120 В/м, но может достигать значений до ± 10000 В/м. Суточные вариации напряженности поля опосредовано обусловлены влиянием солнечной радиации, а годовые - солнечной активности [4]. Изучение этих вариаций в пространстве и времени имеет большое значение для понимания атмосферного электричества, механизмов его формирования и взаимосвязи с другими атмосферными явлениями, а также его влияния на окружающую среду [5,6].

Данные, полученные из измерений напряженности электрического поля, могут служить важным индикатором опасных погодных явлений [7]. Повышенная напряженность электрического поля на приземной поверхности может быть предупреждающим сигналом о приближающейся грозе или молнии. Мониторинг электрического поля может быть включен в системы предупреждения о погодных бедствиях, что способствует безопасности граждан [8,9].

Исследования, связанные с электрическим полем в атмосфере, находят практическое применение в различных отраслях. Они могут быть полезными

для улучшения прогнозов погоды, для решения практических задач охраны окружающей среды, для связи, в частности смены вида или канала в условиях различного рода метеоусловий, авиации при прогнозировании турбулентности в атмосфере, для электроэнергетики при защите электрооборудования от молнии, для сельского хозяйства при оптимизации орошения и предупреждении засух. Эти исследования могут помочь лучше предсказывать изменения климата и разрабатывать стратегии адаптации. Речь идет даже о возможности использования результатов измерений напряженности электрического поля в качестве индикатора климатических изменений.

Таким образом, изучение электрического поля в приземном слое атмосферы является важной задачей с точки зрения, как фундаментальной науки, так и практических приложений.

Целью данного исследования является рассмотрение вопросов электрического поля в приземном слое атмосферы, вариаций его напряженности и прогнозирование этих вариаций на основе различных методов и моделей. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- Провести измерения электрического поля в приземном слое атмосферы.
 - Анализировать полученные данные и выявить закономерности и тенденции в изменении электрического поля.
 - Разработать нейронную сеть для прогнозирования вариаций электрического поля.
 - Протестировать и улучшить модель, используя различные методы настройки гиперпараметров.
 - Произвести прогнозирование вариаций электрического поля на основе полученной модели и методов прогнозирования.
-

Материалы и методы

Для измерения напряженности электрического поля в атмосфере был использован измеритель EFM 550 фирмы «Vaisala». Этот прибор является широко используемым инструментом для организации сети мониторинга электрического поля и обладает высокой чувствительностью. Важными техническими характеристиками измерителя напряженности электрического поля EFM 550 являются его частота измерений и точность. В данном исследовании проводились измерения с частотой 2 измерения в секунду, что позволяет получать данные высокого временного разрешения для анализа вариаций напряженности поля [10].

Измерения напряженности электрического поля проводились в пункте Нальчик с 2010 года по настоящее время. Полученные результаты измерений представляют собой временные ряды напряженности электрического поля в атмосфере. Были зафиксированы и резкие изменения электрического поля, связанные с грозовыми разрядами и другими атмосферными явлениями. Высокая частота измерений позволила получить детальную информацию о временных изменениях напряженности электрического поля. Анализ этих данных может дать представление о динамике электрического поля в определенном регионе и его изменениях во времени.

В настоящее время для прогнозирования вариаций электрического поля в приземном слое атмосферы используются различные методы, основанные на анализе данных наблюдений и на математических моделях атмосферного электричества.

Метод статистического анализа основан на анализе исторических данных о вариациях электрического поля. При этом анализируются данные измерений электрического поля, а также данные о других метеорологических и геофизических параметрах, которые могут влиять на электрическое поле. Например, для прогнозирования суточных вариаций электрического поля

используются данные о температуре, влажности и атмосферном давлении. Для прогнозирования сезонных и годовых вариаций электрического поля используются данные о солнечной активности и о количестве гроз. Этот метод позволяет выявить статистические закономерности в данных и использовать их для прогнозирования будущих изменений в электрическом поле. Однако, точность таких прогнозов может быть ограничена, особенно при прогнозировании на длительные временные интервалы.

Метод физико-математических моделей основан на знаниях о физических процессах, происходящих в атмосфере, и могут предоставить более точную модель изменений электрического поля. Однако, эти модели могут быть сложными и требуют большого количества данных и вычислительных ресурсов, чтобы быть достаточно точными. Численные модели атмосферных электрофизических процессов являются одним из наиболее мощных инструментов для прогнозирования изменений приземной напряженности электрического поля [11]. Эти модели учитывают физические законы, описывающие процессы ионизации, рекомбинации, переноса и распределения электрического заряда в атмосфере, и могут использовать данные о текущем состоянии атмосферы для прогнозирования изменений в электрическом поле [12].

Метод машинного обучения представляет собой современный и эффективный подход к моделированию изменений электрического поля. Модели машинного обучения обучаются на основе данных и могут учитывать множество факторов, что позволяет им достичь высокой точности прогнозирования. Этот метод может быть особенно полезным при прогнозировании изменений в электрическом поле на различных временных интервалах. Некоторые из наиболее популярных методов машинного обучения, которые могут быть использованы для прогнозирования

изменений электрического поля в атмосфере, включают методы регрессии, случайные леса, нейронные сети и градиентный бустинг.

Все описанные методы имеют свои преимущества и ограничения и могут быть использованы в зависимости от конкретной задачи.

В данном исследовании используем искусственные нейронные сети для прогнозирования вариаций электрического поля. Искусственные нейронные сети позволяют обрабатывать большие объемы данных и выявлять скрытые закономерности в этих данных. При использовании нейронных сетей в качестве модели прогнозирования, мы обучали сеть на основе исторических данных об электрическом поле и метеорологических данных. Обученная сеть затем использовалась для прогнозирования вариаций электрического поля на основе текущих данных.

Для демонстрации работы модели выбран участок в течение двух суток, 18 и 19 августа 2022 года (рис. 1).

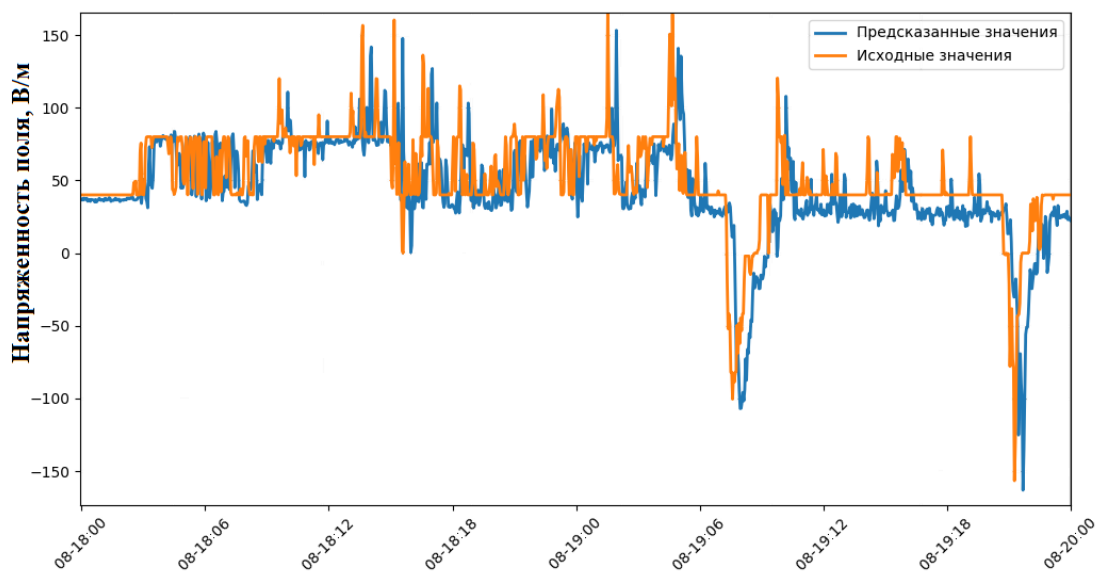


Рис. 1. - Пример совмещения данных регистрации и прогностической модели полученной обучением нейросети

Полученные результаты показали, что разработанная модель, основанная на сверточных искусственных нейронных сетях, позволяет достаточно точно прогнозировать вариации электрического поля в приземном слое атмосферы. Однако, для более точного прогнозирования необходимо учитывать больше параметров атмосферы и соответственно взаимосвязей между ними.

Заключение

Электрическое поле в приземном слое атмосферы является важным фактором, отражающим состояние атмосферы, погоды и климата. Изучение его вариаций и прогнозирование изменений приземной напряженности электрического поля позволяет лучше понимать процессы, происходящие в атмосфере, и использовать результаты для разработки методов прогнозирования погоды и опасных атмосферных явлений. А проводимые измерения электрического поля в приземном слое атмосферы являются важной частью изучения атмосферного электричества, и также могут способствовать улучшению прогнозов погоды и климатических моделей, что имеет существенное значение в современном мире, где изменение климата и экстремальные погодные условия становятся все более актуальными проблемами.

Прогнозирование вариаций электрического поля имеет огромное прикладное значение, позволяя лучше понимать процессы, происходящие в атмосфере, и принимать меры для повышения эффективности и безопасности работы технических систем. Это особенно актуально в контексте предупреждения о грозах и молниях, оптимизации различных отраслей, исследования климатических изменений и защиты жизни и имущества от погодных бедствий.

Для исследований была создана модель, позволяющая прогнозировать вариации электрического поля на основе метеорологических данных.

Разработанная нейронная сеть показала хорошие результаты. Продемонстрировано, что использование нейронных сетей может быть эффективным подходом для прогнозирования параметров электрического поля приземного слоя атмосферы. В дальнейших исследованиях планируется расширить область измерений, включив в анализ дополнительные параметры, такие, как температура, давление и влажность воздуха, а также использовать более сложные модели машинного обучения для улучшения точности прогнозов.

В целом, результаты показывают, что модели машинного обучения могут быть эффективными в прогнозировании вариаций электрического поля в приземном слое атмосферы. Это может иметь практическое применение в различных областях, таких как авиация, метеорология, геология и другие.

Перспективы использования прогнозирования изменений приземной напряженности электрического поля для прогнозирования неблагоприятных погодных явлений могут быть связаны с повышением точности и достоверности прогнозирования погодных условий, а также с повышением эффективности и безопасности работы технических систем, чувствительных к электрическим полям, таких как системы связи, электрические сети, радиолокационное оборудование и др.

Исследование электрического поля в атмосфере также имеет значение в контексте изменения климата и антропогенного воздействия на окружающую среду. Взаимосвязь между электрическим полем и процессами ионизации в атмосфере может показать происходящие изменения в составе атмосферы под действием смены климата и качества воздуха в процессе выброса загрязнителей.

Дальнейшие исследования в этой области способствуют разработке новых методов и технологий в области электроэнергетики и связи и

улучшению наших знаний о природе воздействия атмосферных электрофизических явлений на окружающую среду и здоровье человека.

Литература

1. Анисимов С. В., Галиченко С. В., Шихова Н. М., Афиногенов К. В. Электричество конвективного атмосферного пограничного слоя: натурные наблюдения и численное моделирование // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2014. Т. 50. №. 4. С. 445-445.

2. Adzhiev A. K., Kupovykh G. V. Measurements of the atmospheric electric field under high-mountain conditions in the vicinity of Mt. Elbrus // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2015. Т. 51. pp. 633-638.

3. Куповых Г. В., Клово А. Г., Тимошенко Д. В. Вариации атмосферного электрического поля в приземном слое // Распространение радиоволн. 2019. Т.2. С. 561-565.

4. Tacza J., Raulin J. P., Mendonca R. R. S., Makhmutov V. S., Marun A., Fernandez G. Solar effects on the atmospheric electric field during 2010–2015 at low latitudes // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2018. V. 123. №. 21. pp. 11970-11979.

5. Аджиев А. Х., Клово А. Г., Кудринская Т. В., Куповых Г.В., Тимошенко Д.В. Суточные вариации электрического поля в приземном слое атмосферы // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2021. Т. 57. № 4. С. 452-461.

6. Аджиева А.А., Кокоева М.Н. Динамический мониторинг данных параметров токов молний на территории юга Европейской части России // Инженерный вестник Дона. 2019. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5954/.

7. Аджиев А.Х., Стасенко В.Н., Шаповалов А.В., Шаповалов В.А. Напряженность электрического поля атмосферы и грозовые явления на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология. 2016. №3. С. 46-54.

8. Аджиев А.Х., Аджиева А.А., Тумгоева Х.А. Мониторинг грозовых явлений на Северном Кавказе // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2008. № 3 (23). С. 104-109.

9. Ferro M. A. D. S., Yamasaki J., Pimentel D. R. M., Naccarato K. P., Saba M. M. F. Lightning risk warnings based on atmospheric electric field measurements in Brazil // Journal of Aerospace Technology and Management. 2011. V. 3. pp. 301-310.

10. Adzhieva A.A., Shapovalov V.A., Mashukov I.Kh. Local Sensing of Atmospheric Electric Field around Nalchik City. Advanced Environmental, Chemical, and Biological Sensing Technologies XIV, edited by Tuan Vo-Dinh, Robert A. Lieberman, Proc. of SPIE (2017) Vol. 10215, 102150W (May 3, 2017); doi: 10.1117/12.2279940.

11. Чернева Н. В., Пономарев Е. А., Фирстов П. П., Бузевич А. В. Базовые модели источников вариаций вертикальной компоненты атмосферного электрического поля // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. 2007. №. 2. С. 60-64.

12. Шаповалов В.А., Аджиева А.А., Бачиев Б.А., Машуков И.Х. Модель визуализации для данных численного моделирования конвективного облака // Инженерный вестник Дона. 2023. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8326/.

References

1. Anisimov S. V., Galichenko S. V., Shikhova N. M., Afanogenov K. V. Elektrichestvo konvektivnogo atmosfernogo pogranchnogo sloya: naturalnye nabludeniya i chislennoe modelirovanie [Electricity of the convective

atmospheric boundary layer: natural observations and numerical modeling]. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*. 2014. Vol. 50. №. 4. pp. 445-445.

2. Adzhiev A. K., Kupovykh G. V. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 2015. Vol. 51. pp. 633-638.

3. Kupovykh G. V., Klovo A. G., Timoshenko D. V. Variacii atmosfernogo elektricheskogo polya v prizemnom sloe [Variations of the atmospheric electric field in the surface layer]. *Rasprostranenie radiovoln*. 2019. pp. 561-565.

4. Tacza J., Raulin J. P., Mendonca R. R. S., Makhmutov V. S., Marun A., Fernandez G. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2018. Vol. 123. №. 21. pp. 11970-11979.

5. Adzhiev A. Kh., Klovo A. G., Kudrinskaya T. V., Kupovykh G. V., Timoshenko D. V. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*. 2021. Vol. 57. №. 4. pp. 452-461.

6. Adzhieva A. A., Kokoeva M. N. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2019. № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5954/.

7. Adzhiev A. Kh., Stasenko V. N., Shapovalov A. V., Shapovalov V. A. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2016. №. 3. pp. 46-54.

8. Adzhiev A. Kh., Adzhieva A. A., Tumgoeva Kh. A. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2008. №. 3 (23). pp. 104-109.

9. Ferro M. A. D. S., Yamasaki J., Pimentel D. R. M., Naccarato K. P., Saba M. M. F. *Journal of Aerospace Technology and Management*. 2011. Vol. 3. pp. 301-310.

10. Adzhieva A. A., Shapovalov V. A., Mashukov I. Kh. Local Sensing of Atmospheric Electric Field around Nalchik City. *Advanced Environmental, Chemical, and Biological Sensing Technologies XIV*, edited by Tuan Vo-Dinh, Robert A. Lieberman, *Proc. of SPIE* (2017) Vol. 10215, 102150W (May 3, 2017); doi: 10.1117/12.2279940.



11. Cherneva N. V., Ponomarev E. A., Firstov P. P., Buzevich A. V. Vestnik Kamchatskoy regionalnoy assotsiatsii Uchebno-nauchnyy tsentr. Seriya: Nauki o Zemle. 2007. №. 2. pp. 60-64.

12. Shapovalov V. A., Adzhieva A. A., Bachiev B. A., Mashukov I. Kh. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2023/8326/.

Дата поступления: 26.10.2023

Дата публикации : 10.12.2023