Секция В. Физика атмосферы Земли, включая околоземное космическое пространство. БШФФ-2026. С. 321–323.

УДК 551.594.1:551.513.3
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-321
ORCID: 0000-0003-4933-0441

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОЗДУХА ПОД ВЛИЯНИЕМ АЗИАТСКОГО МАКСИМУМА НА ЮГО-ВОСТОКЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М.В. Оглезнева[1], П.М. Нагорский[1], К.Н. Пустовалов[1,2], С.В. Смирнов[1,2]

[1]Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия, oglezneva.m@yandex.ru
[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

VARIABILITY OF AIR ELECTRICAL CONDUCTIVITY DURING THE SIBERIAN HIGH IN THE SOUTHEAST OF WESTERN SIBERIA

M.V. Oglezneva[1], P.M. Nagorskiy[1], K.N. Pustovalov[1,2], S.V. Smirnov[1,2]

[1]Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia, oglezneva.m@yandex.ru
[2]Tomsk State University, Tomsk, Russia

Аннотация. На основе измерений метеорологических и атмосферно-электрических величин в г. Томске в зимний период рассмотрен отклик параметров приземного атмосферного электричества на динамику Азиатского максимума. Проведен анализ взаимосвязи полярных проводимостей воздуха и напряженности электрического поля с термобарическим режимом тропосферы и динамикой субмикронного пылевого аэрозоля фракции 0.03–0.55 мкм (по данным реанализа ERA5 и CAMS). Обсуждается роль приземной термической инверсии, формирующейся в антициклоне, как возможного задерживающего слоя для субмикронного аэрозоля.

Ключевые слова: электропроводность воздуха, центр действия атмосферы, Азиатский максимум, аэрозоль.

Abstract. Based on winter-period measurements of meteorological and atmospheric-electric variables in Tomsk, the response of surface atmospheric electricity parameters to the dynamics of the Siberian High is considered. The relationship of polar air conductivities and electric field intensity with the tropospheric thermobaric regime and the dynamics of submicron dust aerosol (0.03–0.55 μm fraction) is analyzed using ERA5 and CAMS reanalysis data. Particular attention is paid to the role of the anticyclone-induced surface temperature inversion as a trapping layer for submicron aerosol, which determines the variability of atmospheric electricity characteristics.

Keywords: air electrical conductivity, centers of action of the atmosphere, Siberian High, aerosol.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение глобальной электрической цепи (ГЭЦ) и факторов, определяющих ее вариации, остается одной из фундаментальных задач физики атмосферы [Rycroft et al., 2000; Hirsikko et al., 2011]. Важнейшим элементом, влияющим на характеристики приземного атмосферного электричества, является аэрозольное загрязнение воздуха [Шаталина, 2019]. Исследование приземного атмосферного электричества представляет не только фундаментальный интерес для понимания ГЭЦ, но и важно для решения прикладных задач, связанных с диагностикой состояния атмосферы. Ключевыми параметрами здесь являются напряженность электрического поля и полярные проводимости воздуха, которые чувствительны к изменениям концентрации аэрозольных частиц и ионного состава [Hirsikko et al., 2011]. Субмикронный аэрозоль, обладая высокой концентрацией, активно захватывает легкие ионы, что приводит к снижению полярных электропроводностей воздуха и росту напряженности электрического поля [Anisimov et al., 2017].

В зимний период над Западной Сибирью, в том числе в районе г. Томска, погодные условия и накопление примесей в значительной степени определяются динамикой Азиатского максимума (Сибирского антициклона) — мощного сезонного барического образования и ключевого центра действия атмосферы [Panagiotopoulos et al., 2005]. С ним связаны интенсивные приземные температурные инверсии, штилевые ситуации и накопление субмикронного аэрозоля. Формирующиеся в условиях антициклона инверсии создают устойчивую стратификацию и служат задерживающим слоем, препятствующим вертикальному перемешиванию воздушных масс. Это приводит к локальному концентрированию субмикронных пылевых фракций в приземном слое, существенно трансформируя электродинамические характеристики атмосферы [Донченко и др., 2005].

Несмотря на очевидную связь между электрическими и метеорологическими параметрами, отклик атмосферно-электрических характеристик именно на изменения Азиатского максимума в условиях городской среды исследован недостаточно. Особенно это касается роли инверсионных слоев как барьера, задерживающего аэрозоль фракции 0.03–0.55 мкм, который способен существенно модифицировать электропроводность и электрическое поле.

Цель данной работы — на основе измерений в г. Томске в зимний период и данных реанализов ERA5 и CAMS выявить закономерности взаимосвязи полярных проводимостей воздуха и напряженности электрического поля с термобарическим режимом тропосферы, динамикой субмикронного аэрозоля и

интенсивностью Азиатского максимума. Особое внимание уделяется оценке влияния приземной термической инверсии, порождаемой антициклоном, на изменчивость изучаемых электрических параметров.

ДАННЫЕ

Данные наземных наблюдений

Экспериментальную основу исследования составили результаты непрерывных синхронных измерений метеорологических и атмосферно-электрических величин, полученные в г. Томске на базе Геофизической обсерватории ИМКЭС СО РАН [https://imces.ru/]. Для анализа были выбраны зимние периоды (ноябрь — март) с 2007 по 2017 г.

Полярные электропроводности воздуха ($\lambda_{\pm}$) измерялись датчиком (рис. 2.2, *а*) «Электропроводность-2» (ГГО, СССР). Удельная электрическая проводимость воздуха каждой полярности изменяется в диапазоне от 3 до 25 фСм·м$^{-1}$. Погрешность измерений составляет ±15 %. Градиент потенциала электрического поля (□φ) в приземном слое атмосферы с 2006 по 2017 г. измерялся электрическим флюксметром «Поле-2» (ГГО, СССР). «Поле-2» измеряет □φ в диапазоне ±5000 В/м с точностью ±5 %. Более подробно с перечнем оборудования можно ознакомиться на сайте ИМКЭС СО РАН [https://imces.ru/].

Выявление случаев формирования и действия антициклона над территорией исследования производилось по приземным синоптическим [https://meteoinfo.ru/mapsynop/] и кольцевым картам погоды [http://meteo-nso.ru/].

Данные реанализа (ERA5 и CAMS)

Для исследования крупномасштабных синоптических процессов, термобарического режима тропосферы и вертикальной структуры атмосферы использовались данные реанализа ERA5 [https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-pressure-levels], созданного Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). Применялись массивы данных с пространственным разрешением 0.25°·0.25° по долготе и широте и с шагом дискретизации по времени 1 ч. Из реанализа ERA5 были извлечены вертикальные профили температуры воздуха на изобарических уровнях от 1000 до 100 гПа для расчета параметров приземных термических инверсий и термобарического режима тропосферы.

Данные о пространственно-временной динамике и вертикальном распределении субмикронного аэрозоля были получены из реанализа CAMS (EAC4) [https://ads.atmosphere.copernicus.eu/datasets/cams-global-reanalysis-eac4], который также создан ECMWF. Использовались профили массовой концентрации пылевого аэрозоля фракции 0.03–0.55 мкм (Dust Aerosol Mixing Ratio) на изобарических уровнях от 1000 до 100 гПа с шагом по времени 3 ч в ближайшем к пункту наблюдений узле реанализа (пространственное разрешение CAMS — 0.75°·0.75° по долготе и широте), интерполированные на район проведения наземных измерений в г. Томске.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве характерного примера воздействия Азиатского максимума на атмосферно-электрические характеристики приземного слоя рассмотрен эпизод 9–15 ноября 2007 г. На рис. 1 представлена синоптическая карта в моменты наибольшей интенсивности антициклона. Первоначально (9 ноября) центр антициклона располагался над территорией Северного Казахстана, затем смещался к востоку. 11 ноября 2007 г. один из центров был над Новосибирском с максимальным давлением 1040.2 гПа. В этот период стационарный антициклон обусловливал выхолаживание приземного слоя воздуха и формирование инверсии и в итоге устойчивой стратификации, что создавало предпосылки для трансформации атмосферно-электрических характеристик в приземном слое в Томске.

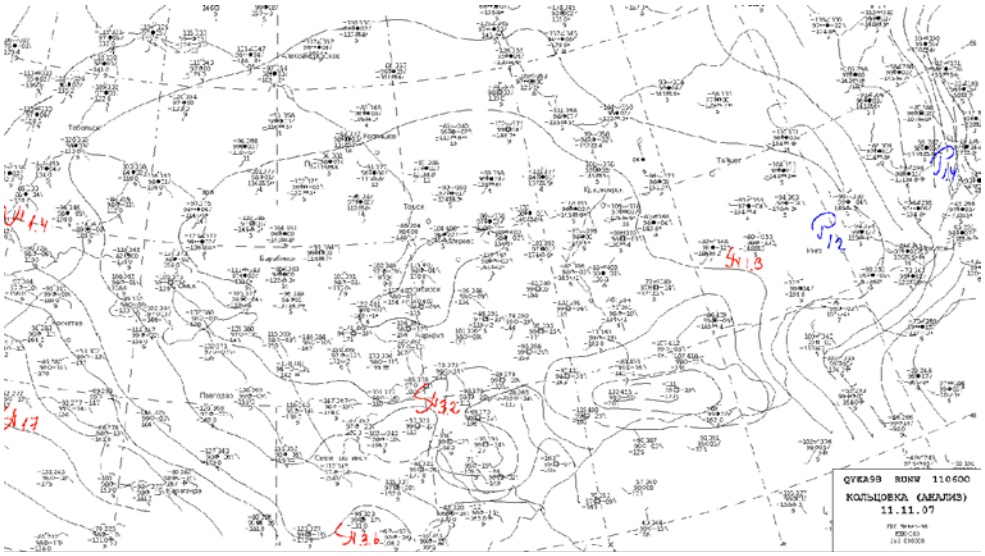

Рис. 1. Кольцевая карта погоды на 06:00 UTC 11 ноября 2007 г. для Западной Сибири. Красным цветом показано значение уменьшения барической тенденции, синим — ее рост

На рис. 2 представлены временная динамика полярных проводимостей воздуха (λ_+, λ_-), градиента потенциала электрического поля (□П), приземного атмосферного давления (*P*), а также вертикальные профили температуры (по данным ERA5) и массовой концентрации пылевого аэрозоля фракции 0.03–0.55 мкм (по данным CAMS). В ночь с 8 по 9 ноября над Томском проходил циклон (давление было ниже 995 гПа), значения λ_+, λ_- находились в диапазоне 8–12 фСм/м, а □П значительно изменялся. Далее над территорией распространялся Азиатский антициклон, давление выросло до 1020 гПа, началось резкое снижение λ_+, λ_- до 4–6 фСм/м и □П до 0 В/м, что указывает на накопление объемного заряда в приземном слое.

Анализ вертикальных профилей температуры (рис. 2) показывает формирование устойчивой приподнятой инверсии с 11 ноября. Именно эта инверсия, по данным реанализа, привела к накоплению субмикронного аэрозоля в приземном слое. Увеличение количества субмикронных частиц, активно захватывающих легкие ионы, объясняет наблюдаемое снижение □П, а затем и полярных проводимостей.

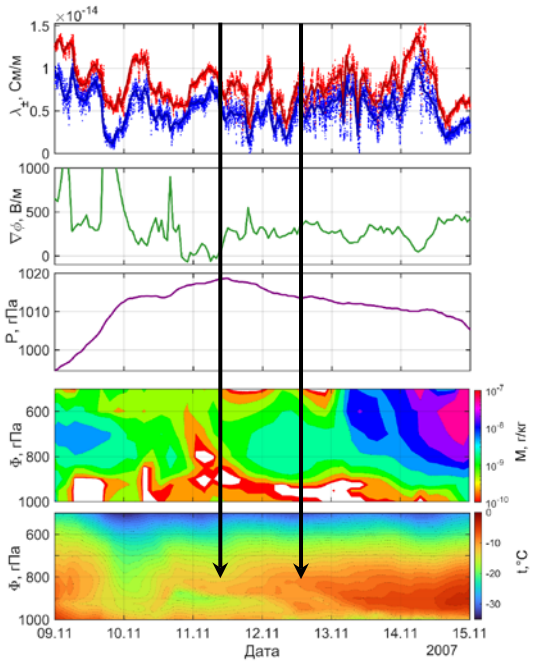

Рис. 2. Динамика атмосферно-электрических величин (λ+,□П), атмосферного давления на уровне станции (*P*), а также высотных профилей аэрозольных пылевых частиц (*M*, фракция 0.03–0.55 мкм по данным CAMS) и температуры (*t*) на изобарических уровнях 500–1000 гПа (√) в период развития Азиатского антициклона в Томске (9–15 ноября 2007 г.). Стрелками указаны период действия приподнятой инверсии

Кроме того, в первые дни формирования антициклона (10–11.11) прослеживается четкий суточный ход электропроводностей воздуха — максимум в предрассветные часы и минимум в вечерние, однако уже 12–14.11 суточный ход нарушается.

Таким образом, на примере ноября 2007 г. показано, что Азиатский максимум, формируя устойчивую приподнятую инверсию, создает задерживающий слой для субмикронного аэрозоля в нижележащих слоях. Это, в свою очередь, приводит к существенной трансформации электрических параметров приземной атмосферы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе измерений в г. Томске и данных реанализа ERA5 и CAMS исследована изменчивость параметров приземного атмосферного электричества в период формирования Азиатского максимума. Показано, что развитие антициклональной циркуляции способствует возникновению интенсивных приподнятых термических инверсий, которые задерживают субмикронный аэрозоль фракции 0.03–0.55 мкм в нижележащих слоях.

Установлено, что накопление субмикронной фракции приводит сначала к снижению градиента потенциала электрического поля, а затем и полярных электропроводностей воздуха (с 8–12 до 4–6 фСм/м) вследствие захвата легких ионов аэрозольными частицами. Выявлена взаимосвязь между динамикой Азиатского максимума, термобарическим режимом тропосферы и электрическими характеристиками приземного слоя. Полученные результаты подтверждают, что как приподнятая, так и приземная инверсия в условиях антициклона выступает ключевым фактором накопления примесей, опосредованно трансформирующим электродинамические процессы в нижней атмосфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Донченко В.А., Кабанов М.В., Кауль Б.В. и др. Электрооптические явления в атмосфере. Томск.: Изд-во НТЛ, 2015. 316 с.

Шаталина М.В. Квазистационарные электрические поля и структуры в атмосфере: Канд. дис. … к.ф.-м.н. Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2019. 127 с.

Anisimov S.V., Galichenko S.V., Mareev E.A. Electrodynamic properties and height of atmospheric convective boundary layer // Atmos. Res. 2017. V. 194. P. 119–129.

Hirsikko T. Nieminen S., Gagné S., et al. Atmospheric ions and nucleation: A review of observations // Atmos. Chem. Phys. 2011. V. 11. P. 767–798.

Panagiotopoulos F., Shahgedanova M., Hannachi A., Stephenson D.B. Observed trends and teleconnections of the Siberian High: A recently declining center of action // J. Clim. 2005. V.18(9). P. 1411–1422.

Rycroft M.J., Israelsson S., Price C. The global atmospheric electric circuit, solar activity and climate change // J. Atmos. and Solar-Terr. Phys. 2000. V. 62, N 17. P. 1563–1576.

URL: http://meteo-nso.ru/. (Дата обращения: 01.05.2026)

URL: https://meteoinfo.ru/mapsynop/. (Дата обращения: 01.05.2026)

URL: https://imces.ru/ (Дата обращения: 01.05.2026).

URL: https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-pressure-levels. (Дата обращения: 01.05.2026).

URL: https://ads.atmosphere.copernicus.eu/datasets/cams-global-reanalysis-eac4. (Дата обращения: 01.05.2026).