

ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЯ И ЭФФЕКТЫ ТЕРМИНАТОРА В АТМОСФЕРНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ КАМЧАТКИ

Н.В. Чернева, В.В. Кузнецов

FORBUSH DECREASES AND TERMINATOR'S EFFECTS IN KAMCHATKA'S ATMOSPHERIC ELECTRICITY

N.V. Cherneva, V.V. Kuznetsov

Сообщается об исследованиях атмосферного электрического поля (АЭП), проведенных в геофизической обсерватории Паратунка ИКИР ДВО РАН. Анализу подвергались дни с «условиями хорошей погоды», когда в моменты геомагнитных возмущений одновременно с Форбуш-понижениями интенсивности галактических космических лучей (ГКЛ) наблюдалось понижение величины АЭП E_z . Форбуш понижения проявляются и при регистрации электрической проводимости воздуха. При анализе многолетних наблюдений АЭП на Камчатке было выявлено проявление эффектов утреннего терминатора: величина АЭП возрастает в моменты восхода Солнца. Показано, что эффекты утреннего терминатора не проявляются в вариациях проводимости, при этом отмечается вечерний терминатор. Уменьшение АЭП при Форбуш-понижении достигает 80 % от средней величины поля, что в 10 раз больше процентного понижения ГКЛ. Эффекты терминатора и Форбуш-понижения E_z сравнимы по величине.

The results of the atmospheric electrical field (AEF) research at Paratunka geophysical observatory of IKIR FEB RAS (Institute of Space Physical Research and Radio Waves Propagation, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences) are reported. During geomagnetic disturbances when Forbush decreases of the galactic cosmic rays (GCR) intensity and of the magnitude of AEF are synchronizing, only the days of fair-weather conditions were analyzed. Records of the electric conductivity revealed Forbush decreases too. Analyzing long-term data on AEF in Kamchatka, the Sun terminator effect when the AEF magnitude increases at the sunrise was discovered. Conductivity variations effected by evening terminator rather than morning one were observed. During Forbush decrease AEF drop is about 80 % of its mean magnitude and it is ten times exceeding percent (GCR) intensity fall. Terminators effects and Forbush decreases are seen to be comparable.

Введение

Природа атмосферного электрического поля остается до сих пор не совсем ясной, несмотря на большое количество исследований. Считается, что возникновение атмосферного электрического поля полностью определяется грозовой деятельностью, однако этот подход, несмотря на то, что идея источника АЭП общепринята и практически не подвергается сомнению, приводит к возникновению парадокса: электричество ясных дней связано с грозовой деятельностью облаков, т.е. с тем фактором, который в исследованиях поля хорошей погоды исключается как аномальный. Нелепость этой ситуации стимулировала нас к проведению экспериментов по активному воздействию на АЭП, анализу многолетних наблюдений АЭП на Камчатке, полученных на обсерватории Паратунка с использованием серийных приборов: «Поле-2», предназначенного для измерения вертикальной составляющей поля E_z и установки «Электропроводность-2» – для измерения проводимости воздуха в приземном слое атмосферы аспирационным методом [1], и разработке принципиально новой модели атмосферного электричества. В работе использовались данные по ГКЛ нейтронных супермониторов Москвы, Магадана и мыса Шмидта.

Атмосферное электричество в моменты Форбуш понижений ГКЛ

Практически ни одна из известных моделей АЭП не обходится без учета роли ГКЛ как ионизатора атмосферы, играющих важную роль в формировании АЭП. Несмотря на это, наблюдений, касающихся взаимосвязи ГКЛ и АЭП, сравнительно немного. Поэтому вполне логично было бы попытаться выявить возможную корреляцию между E_z и интенсив-

ностью ГКЛ. Поток ГКЛ изотропен в пространстве, а его интенсивность стабильна во времени – она изменяется в течение суток не более чем на $\pm 2\%$. Связь ГКЛ с другими геофизическими параметрами более четко проявляется в моменты резких понижений интенсивности потока ГКЛ – Форбуш-понижений. В работе [2] приведены результаты регистрации поведения АЭП, которые проводились на венгерской обсерватории Nagycenk (1962–1994 гг.). Показано, что в моменты сильных Форбуш-понижений ГКЛ электрическое поле в течение двух дней уменьшалось на $\sim 5\text{--}10\%$, а затем восстанавливалось за 5–10 дней до прежнего уровня. Анализируя результаты своих наблюдений, Märcz приходит к выводу, что в рамках существующих представлений о глобальном атмосферном электрическом контуре (ГАЭК) объяснить поведение E_z не удастся: «маловероятно, что изменения проводимости и потока солнечных частиц одни могут объяснить глобальные изменения электрического поля». Автор приходит к важному для нас выводу: «электрическое поле может одновременно находиться под влиянием других факторов, которые более эффективны в другом месте в атмосфере и действуют посредством изменения параметров ГАЭК. Таким образом, реакция АЭП к солнечно-земным событиям не всегда однозначна». В работе [2] показано, что уменьшение поля E_z происходит в течение двух дней после начала сильного Форбуш-понижения ГКЛ, в то время как сам процесс понижения интенсивности потока ГКЛ занимает существенно меньшее время. Складывается впечатление, что поле E_z несколько отстает от хода интенсивности потока ГКЛ, а фаза восстановления E_z занимает 4–5 дней, что примерно соответствует фазе восстановления интенсивности ГКЛ.

Но если Форбуш-понижения в ГКЛ выделяются очень наглядно, то эти же эффекты в АЭП наблюдать значительно сложнее. Дело в том, что на атмосферное электричество хорошей погоды во времени оказывают влияние метеорологические процессы, происходящие в так называемом обменном слое атмосферы. Фазу восстановления поля E_z на Камчатке проследить практически невозможно, так как ситуация, когда 5 дней хорошей погоды идут подряд, бывает очень редко. Тем не менее, как следует из рис. 1, в ряде случаев понижение величины E_z синхронно с Форбуш-понижением ГКЛ наблюдается достаточно однозначно.

Детальный анализ совпадений времени начала Форбуш-понижения ГКЛ и характера уменьшения интенсивности потока нейтронов с явлениями в АЭП показал, что действительно Форбуш-понижение ГКЛ совпадает по времени с началом понижения величины E_z . По данным супермониторов Москвы, Магадана и м. Шмидта отбирались дни, когда происходили Форбуш-понижения ГКЛ, затем из данных E_z , полученных на станции Паратунка с 1998 г. по настоящее время, выделялись дни «хорошей погоды» для АЭП на Камчатке, совпадающие с датами Форбуш-понижений ГКЛ. Таких совпадений оказалось чуть больше 20 (рис. 2), но практически во всех отобранных случаях время хорошей погоды на Камчатке оказалось меньше времени восстановления E_z , которое, как было показано в обсерватории Nagysenk, составляло не менее 5 дней. Наиболее характерные кривые, показывающие одновременность понижения ГКЛ и величины E_z , приведены на рис. 2. Анализ данных приведенных на рис. 1 и 2 показывает, что уменьшение величины E_z начинается практически одновременно с началом Форбуш-понижения, задержка сигнала E_z относительно Форбуш-понижения не более двух часов. Скорости понижения величин ГКЛ и АЭП практически совпадают. Для исследования связи этих понижений по ам-

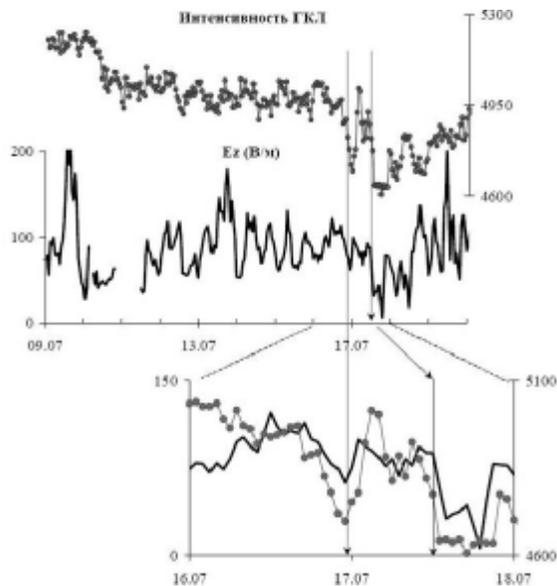


Рис. 1. Форбуш-понижения ГКЛ (Магадан) и вариации E_z , зарегистрированные на обсерватории Паратунка в июле 2005 г.

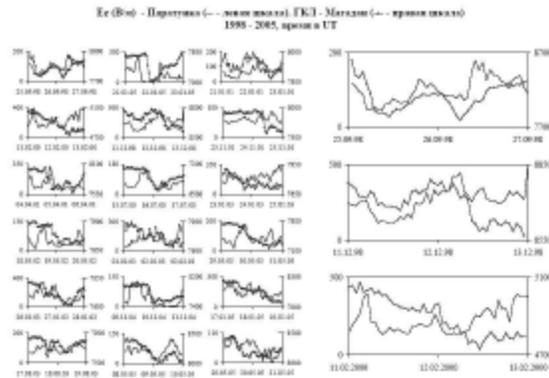


Рис. 2. Слева – Форбуш-понижения ГКЛ и вариации E_z , зарегистрированные на обсерватории Паратунка в течение 1998-2005 гг. Справа – то же в увеличенном масштабе.

плитуде были отобраны 18 событий, на которых понижения ГКЛ и E_z фиксировались очень четко. Анализ данных обнаружил, что наблюдается линейная зависимость понижений, причем процент понижения величины E_z в 10 раз превышает процент понижения интенсивности ГКЛ. Модели АЭП, в которых предполагается взаимосвязь E_z с ГКЛ, должны учитывать и находить объяснение этому факту [3].

Электропроводность АЭП в моменты Форбуш-понижений ГКЛ

Кроме мониторинга величины E_z , на обсерватории Паратунка проводилась регистрация электропроводности легких ионов обоих знаков (λ_+ , λ_-) и вычислялся коэффициент униполярности (λ_+/λ_-). На рис. 3 видно, что Форбуш-понижение наблюдается и во временной зависимости коэффициента униполярности, но далеко не так четко, как в E_z . За редким исключением, корреляции коэффициента униполярности и E_z практически не наблюдается. Зато почти на всех рисунках четко проявляется характерная особенность: в моменты заката Солнца коэффициент униполярности резко возрастает, что означает преимущество положительно заряженных ионов относительно ионов отрицательных. Такая особенность наблюдается практически постоянно и не зависит от времени года.

Унитарная вариация АЭП или эффекты терминатора?

Одна из наиболее интересных особенностей АЭП состоит в том, что величина поля E_z одновре-

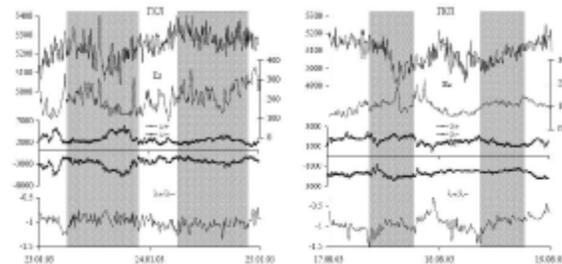


Рис. 3. Форбуш-понижения в ГКЛ, вариации E_z , электрическая проводимость легких ионов (положительных λ_+ и отрицательных λ_-) и коэффициент униполярности (λ_+/λ_-).

менно по всей Земле в 19:00 UT возрастает примерно на 20 % – явление унитарной UT-вариации. Общепринятое объяснение UT-вариации E_z тем, что именно в это время происходит на Земле максимальное число гроз, не выдерживает критики, так как многолетние наблюдения пространственного и временного распределения гроз на поверхности Земли, (<http://flash.ess.washington.edu/>) этого не подтверждают. Очевидно, что ясное понимание физики такого явления как UT-вариации E_z приблизит нас к пониманию сути АЭП.

Попытка выделить UT-вариацию E_z на Камчатской обсерватории Паратунка предпринималась ранее [4]. Действительно, суммирование дневных записей АЭП хорошей погоды показывало довольно резкий подъем величины E_z примерно в 19:00 UT. И аналогично тому, как UT-вариация критической частоты F-слоя ионосферы разрушалась в годы активного Солнца [5], UT-вариация АЭП, так же, как и в ионосфере, не выделялась в годы максимальной активности Солнца (2001 г.). Этот факт говорит в пользу того, что UT-вариацию, по-видимому, действительно можно выделить не только в океане, но и на материковой обсерватории. Однако следует учитывать, что по наблюдениям на Камчатке, время наступления максимального значения величины E_z менялось в зависимости от сезона. Это обстоятельство послужило основанием для переосмысления результатов, полученных в [4]. Отметим, что в отличие от других обсерваторий, где ведутся наблюдения за АЭП, поясное время обсерватории Паратунка опережает UT на 12 ч, и, таким образом, подъем величины E_z приходится (в среднем за год) на утренние рассветные часы, т.е. на время утреннего солнечного терминатора.

Как известно, эффекты солнечного терминатора оказывают значительное влияние на процессы в атмосфере и ионосфере [6, 7]. С целью обнаружения эффекта солнечного терминатора в АЭП были отобраны дни хорошей погоды за первую половину 2005 г., в этих данных выделены ночные часы. При изучении временного хода АЭП на Камчатке, выделяется волновой процесс нарастающих по амплитуде колебаний с периодичностью около часа. Процесс начинается незадолго до утреннего терминатора и продолжается некоторое время в течение утра. На закате в АЭП таких изменений не наблюдается. Вполне возможно, что это увеличение E_z , действительно происходящее примерно на 19:00 UT, и было принято за UT-вариацию E_z . Анализ работ по исследованию эффектов солнечного терминатора в ионосфере и атмосфере показал, что на рассвете эффект проявляется значительно сильнее, чем на заходе. Обычно это объясняется тем, что генерация внутренних гравитационных волн (ВГВ), как, в целом, и акустико-гравитационных волн в ионосфере и атмосфере на восходе происходит более эффективно, чем на закате. Обнаруженное нами устойчивое явление увеличения коэффициента униполярности на закате (рис. 3) скорее всего связано также с ВГВ, но с такими волнами, генерация которых происходит не в атмосфере, а на поверхности Земли в момент прекращения подогрева ее Солнцем при закате. Если

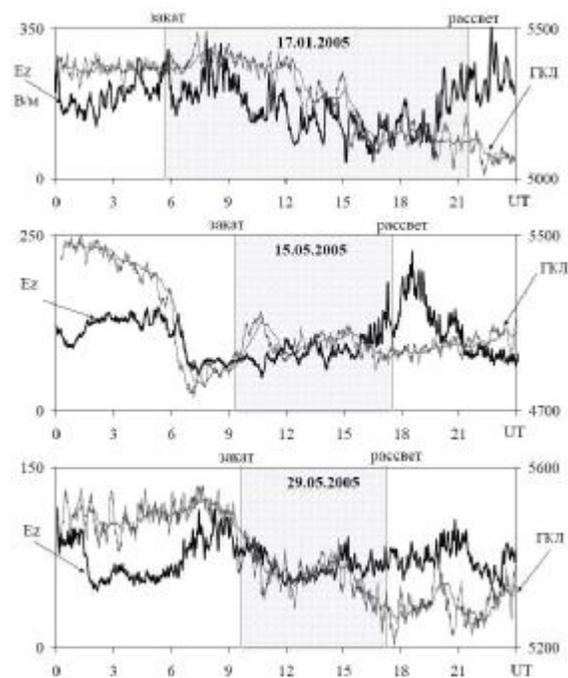


Рис. 4. Наиболее выразительные примеры возрастания величины E_z на восходе Солнца в моменты Форбуш-понижений ГКЛ.

предположить, что генерация E_z происходит на сравнительно большом расстоянии от земной поверхности, а регистрация проводимости легких ионов – вблизи поверхности, отсутствие эффекта закатного терминатора в вариациях E_z становится более или менее понятным.

Форбуш понижения и эффекты терминатора в АЭП

Представляется интересным сравнить величины двух обнаруженных нами явлений в АЭП Камчатки: эффект Форбуш-понижения E_z и эффект солнечного терминатора. На рис. 4 показано, что в вариациях E_z эффект солнечного терминатора в некоторых случаях проявляется с большей интенсивностью и «перебивает» эффект Форбуш-понижения. Обнаруженное явление, если оно не имеет региональный характер т.е. не относится к Камчатке, также необходимо объяснить при построении модели АЭП.

Обсуждение результатов

Форбуш-понижение ГКЛ проявляется в АЭП и проводимости легких ионов: с понижением интенсивности ГКЛ величина E_z синхронно понижается, относительная плотность легких, отрицательно заряженных ионов приземного слоя атмосферы уменьшается (возрастает коэффициент униполярности). Эта связь очевидна, так как величина поля E_z определяется поверхностной плотностью отрицательных зарядов на поверхности Земли. Естественно, если суммарная плотность зарядов Земли и приземного слоя атмосферы понижается, уменьшается и величина E_z .

Обнаруженный в работе эффект возрастания величины E_z во время утреннего, солнечного термина-

тора не проявляется в относительной проводимости легких ионов, выраженной через коэффициент униполярности. Увеличение E_z в утренние часы имеет хорошо выраженный колебательный характер с периодами колебаний порядка 0.5–1 ч. Подобные колебания как акусто-гравитационные волны (внутренние гравитационные волны – ВГВ), возбуждаемые в атмосфере в период солнечного терминатора, известны и изучены. Предположительно именно ВГВ приводят к увеличению E_z в утренние часы. Наиболее интересным результатом работы является обнаружение факта, что ВГВ не проявляются в ходе регистрации коэффициента униполярности в утренние часы, но проявляются (если это действительно ВГВ) в вечернее время.

Сопоставление этих результатов позволяет предположить, что АЭП определяется не только (и не столько) формулой $j = \sigma E$, где σ – проводимость легких ионов, а еще в значительной степени акустическими явлениями и явлениями гидродинамического переноса тяжелых ионов (и аэрозолей), возможно, вызванными влиянием ВГВ.

Обнаружен устойчивый эффект не очень большого, но резкого и регулярного относительного повышения концентрации положительно заряженных легких ионов в часы заката Солнца.

Работа проводилась в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 30 «Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце–Земля».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузевич А.В., Чернева Н.В., Бабаханов И.Ю., Смирнов С.Э. Связь вариаций геомагнитного и атмосферного электрического полей Земли с сейсмичностью на фоне гелиомагнитосферных и атмосферных процессов // Сб. трудов V конференции по атмосферному электричеству. Владимир. 2003. Т. 2. С. 72–75.
2. Märcz F. Short-term changes in atmospheric electricity associated with Forbush decreases // J. Atm. Solar-Terr. Physics. 1997. V. 59, N. 9. P. 975–982.

3. Кузнецов В.В. Атмосферное электрическое поле: факты, наблюдения, корреляции, модели. Сборник трудов III международной конференции «Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений». ИКИР. 2004. Т. 1. С. 165–196.

4. Бузевич А.В., Чернева Н.В., Пономарев Е.А. Многолетние наблюдения и морфология вариаций электрического поля E_z на Камчатке // Сборник трудов III международной конференции «Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений». ИКИР. Паратунка: 2004. Т. 1. С. 155–160.

5. Кузнецов В.В., Плоткин В.В., Нестерова Г.В., Нестерова И.И. Унитарная вариация f_0F2 и солнечная активность // Геомагнетизм и Аэронавигация. 1998. Т. 38, № 2. С. 107–111.

6. Антонова В.П., Гусейнов Ш.Ш., Дробжев В.И. и др. Комплексное экспериментальное исследование волн в атмосфере, генерируемых солнечным терминатором // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1988. Т. 24, № 2. С. 134–143.

7. Бакаев Д.М., Беленький М.И., Киб С.А., Пинегин А.Н. К вопросу о влиянии прохождения терминатора на генерацию акустико-гравитационных волн в ионосфере // Тезисы Девятой региональной конференции по распространению радиоволн. С-Пб, 2003.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Паратунка