

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
КОМИССИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

(Отдельный оттиск)



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1965

Г. Л. Гдалевич, И. М. Ижмитов

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В ИОНОСФЕРЕ ПО ДАННЫМ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАКЕТАХ

Вся Вселенная представляет собой среду с хорошей проводимостью, с большими длинами свободного пробега частиц. Исключение составляет только некоторое количество «особых» областей, в число которых входят нижние слои земной атмосферы. Возникновение в такой среде медленно меняющегося электрического поля вызывает появление потоков быстрых частиц, изменение температуры и ряд других эффектов, существеннейшим образом меняющих характеристики среды. Эта сильная зависимость свойств среды от величины напряженности стационарных электрических полей привела к необходимости измерений этой напряженности, а также к трудности таких измерений.

Трудность измерений связана с тем, что в пространстве могут возникать напряженности поля, во много раз меньшие, чем позволяли измерить известные приборы и методы.

Ряд явлений в ионосфере, например, возникновение неоднородностей ионизации в слое F , дрейф неоднородностей в ионосфере, появление потоков энергичных частиц в верхних слоях атмосферы и др., вероятнее всего, обязаны своим происхождением действию электрических полей [1, 2]. Эти поля могут возникнуть вследствие движения нейтральных потоков заряженных частиц перпендикулярно магнитному полю Земли, причем потоки могут иметь как земное, так и, может быть, солнечное происхождение [3], благодаря переносу электрических полей из межпланетной среды [4] и некоторым другим процессам. Исследование величин напряженности электрического поля и их распределения в пространстве должно, например, ответить на вопрос о связи ряда явлений в ионосфере с солнечной деятельностью и, в частности, на вопрос о возможном механизме связи процессов в атмосфере с солнечной деятельностью.

Однако до недавнего времени оценки величины напряженности поля в ионосфере проводились по косвенным данным, таким, как скорость ветра в слое E [5], скорость дрейфа ионосферных неоднородностей в слое F

[1], величина электронной температуры [6], свечение ночного неба [7]. Оценки по этим данным показали, что в ионосфере в средних широтах существуют стационарные электрические поля с напряженностью E_{\perp} , достигающей до 10^{-4} в·см⁻¹, направленной перпендикулярно магнитным силовым линиям [8], и напряженностью E_{\parallel} , достигающей 10^{-7} в·см⁻¹, направленной вдоль них [6]. Надо отметить, что такие оценки в известной степени произвольны, так как обычно нет достаточно полных сведений для проведения необходимых расчетов. Так, например, нет сведений о скоростях дрейфа неоднородностей в планетарном масштабе; вычисление напряженности поля по данным о токах в ионосфере основывается на расчетных значениях проводимости ионосферы, в то время как расчетные значения для слоя могут существенно отличаться от фактических, и было бы рациональнее, измерив ток и напряженность электрического поля, определить проводимость в соответствующей области.

Поэтому представляют значительный интерес попытки проведения опытов, в которых непосредственно измеряется напряженность электрического поля.

Такие опыты были осуществлены на геофизических ракетах АН СССР. Измерения проводились с помощью специально разработанных электростатических флюксометров [9]. Два датчика прибора устанавливались в диаметрально противоположных точках цилиндрической части поверхности ракеты. Эти датчики вырабатывали напряжение, пропорциональное напряженности электростатического поля в местах их установки. Затем это напряжение усиливалось и с помощью телеметрической линии регистрировалось на Земле. В опытах непосредственно измеряется напряженность электрического поля у поверхности ракеты, образованного за счет действия собственного электрического заряда ракеты и внешнего электрического поля в ионосфере [10, 11]. После соответствующей обработки данных и учета возможных погрешностей измерения, разность измеренных датчиками напряженностей оказывается пропорциональной напряженности электрического поля в ионосфере, причем измеряемая разность много больше внешнего электрического поля. Коэффициент пропорциональности меняется от 10^2 до 10^4 и зависит как от характеристик среды, так и от взаимного расположения векторов напряженностей электрического и магнитного полей и прямой, соединяющей точки установки датчиков [11—13].

В опытах измерялась одна составляющая вектора напряженности поля, в крайних случаях направленная либо вдоль прямой, соединяющей точки установки датчика, и параллельная вектору магнитного поля, либо создающая направленное движение заряженных частиц вдоль этой прямой, когда напряженность магнитного поля перпендикулярна последней и напряженности электрического поля. Поэтому при оценке величины измеренных значений напряженности внешнего поля необходимо учитывать его направление. В условиях проведенного эксперимента, когда устанавливалось всего два датчика, это не всегда удавалось сделать, хотя в большинстве случаев сопоставление значений напряженностей поля, измеренных обоими датчиками, позволяет определить наиболее вероятное направление внешнего электрического поля.

На рис. 1 приведены результаты измерений 15.XI 1961 г. Из рисунка видно, что величина напряженности электрического поля E_{\perp} в ионосфере во время этого опыта доходила до $7 \cdot 10^{-4}$ в·см⁻¹ при поле, направленном с востока на запад. На рис. 2 приведены результаты измерений 6.VI 1963 г.

Следует отметить, сопоставляя рис. 1 и 2, что в послеполуденное время 15.XI 1961 г. E_{\perp} существовало во всей исследуемой области и имелся максимум на высоте ~ 200 км, в то время как 6.VI 1963 г. в утренние часы электрическое поле E_{\perp} имело напряженность, превышающую погрешность измерений, только в областях 150—230 км и 370—460 км, причем максимальная величина $E_{\perp} \sim 8 \cdot 10^{-4}$ в·см⁻¹ наблюдалась на высоте 400 км.

В табл. 1 приведены сведения, относящиеся к наблюдению E_{\parallel} . Значения E_{\perp} на рис. 1 и 2 и E_{\parallel} в таблице получены на основе экспериментальных данных, обработанных по формуле, содержащейся в [12].

Приведенные результаты измерений показывают, что в ионосфере существуют электрические поля с $E_{\perp} \approx 10^{-3}$ в.см $^{-1}$ и $E_{\parallel} \approx 10^{-5}$ в.см $^{-1}$. В работе [14] приводятся значения $E_{\perp} = 2 \cdot 10^{-3}$ в.см $^{-1}$, измеренные в области средних широт. Следует отметить, что E_{\parallel} , как правило, удается обнаружить лишь на высотах более 200 км.

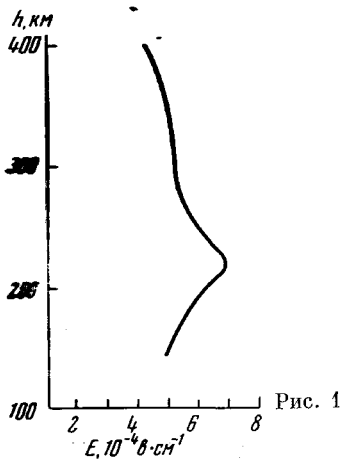


Рис. 1

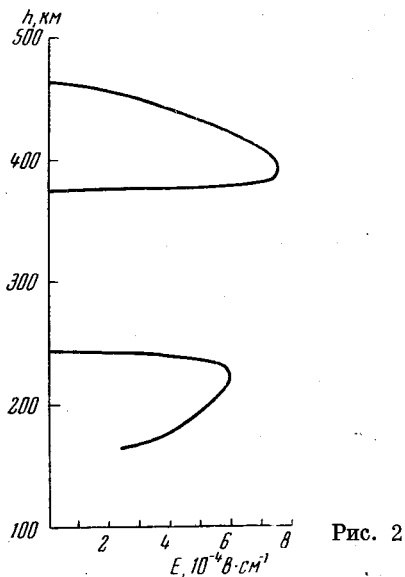


Рис. 2

Большие измеренные величины напряженностей электрического поля должны существенно сказываться на характеристиках ионосферы. В самом деле, существование в ионосфере $E_{\perp} \approx 10^{-3}$ в.см $^{-1}$ должно приводить к дрейфу неоднородностей ионизации со скоростями ~ 1 км.сек $^{-1}$. Кроме того, такое поле должно создавать свечение линий кислорода вследствие общего роста температуры заряженных частиц. Возможно, что обнаруженное в последнее время различие температур электронов и ионов в ионосфере в какой-то мере связано и с действием электрического поля.

Следует отметить, что наблюдающиеся в экспериментах электрические поля с напряженностью $E_{\parallel} \approx 10^{-5}$ в.см $^{-1}$ существуют в течение времени порядка минуты, так как они регистрируются либо на восходящей, либо на нисходящей ветвях траектории ракеты.

В одном случае (1960—1963 гг.) электрическое поле E_{\parallel} отмечалось и при подъеме и при спуске ракеты, хотя за время, прошедшее между моментами измерения (~ 120 сек), оно успело изменить направление.

Возникают два существенных вопроса: 1) почему столь сильные электрические поля не вызывают интенсивного разогрева ионосферы и 2) каков источник возникновения наблюдающихся сильных электрических полей.

Ответы на оба вопроса выходят за рамки настоящего краткого сообщения, но некоторые соображения по этому поводу мы все же приводим.

Появление в ионосфере на высотах более 200—300 км сильного поля E_{\parallel} , напряженностью, допустим, 10^{-5} в.см $^{-1}$, действующего в течение не-

Некоторые сведения, относящиеся к наблюдениям $E_{\parallel} = 10^{-5}$ в.см $^{-1}$

Дата измерений	Высота, км		Направление
	подъем	спуск	
18.X 1962	275—325	—	Север → юг
	360—380	—	Север → юг
	—	260—180	Вертикальное
18.VI 1963	465—485	—	Юг → север
	—	490—465	Север → юг

скольких, а то и нескольких десятков секунд вызывает появление потоков быстрых электронов, покидающих слой, и заполнение этого слоя «холодными» электронами из неразогретых слоев.

В работе [6] показано, что если размер возмущенной электрическим полем области достигает 10 000 км по направлению магнитного поля и 100 м в перпендикулярном направлении, при этом образуется поток убегающих электронов с энергией частиц 1—10 кэв. Рассмотрим случай, когда в ионосфере, в области с указанными размерами, возникло электрическое поле с напряженностью $E_{\parallel} = 10^{-5}$ в·см⁻¹. Электростатическая энергия этого поля равна:

$$w = \frac{E_{\parallel}^2}{8\pi} V \approx 3 \text{ эрг},$$

где $V = 2,5 \cdot 10^{16}$ см³ — объем возмущенной полем области (предполагаем, что область имеет цилиндрическую форму). Энергия поля будет израсходована на разгон $2 \cdot 10^8$ электронов до энергий 10 кэв, температура остальных электронов (при концентрации электронов в возмущенной области $n_e = 4 \cdot 10^5$ см⁻³ полное число электронов равно 10^{22} частиц) останется неизменной. Плотность потока энергии убегающих электронов при этом, если предположить, что они вылетают через основание цилиндра, оказывается равной $4 \cdot 10^{-8}$ эрг·см⁻²·сек⁻¹.

Высокоэнергичные заряженные частицы с энергиями $\sim 1-10$ кэв слабо взаимодействуют со средой, почти не разогревая ее, поэтому можно ожидать, что появление электрического поля даже величиной $E_{\parallel} = 10^{-5}$ в·см⁻¹ не вызовет значительного разогрева среды.

Обращаясь к вопросу об источнике этого поля, следует отметить только, что значения $E_{\parallel} \approx 10^{-5}$ в·см⁻¹, по-видимому, возникают благодаря источникам внеземного происхождения — скорее всего под влиянием Солнца.

Заканчивая настоящее сообщение, можно отметить следующее: несмотря на то, что предлагаемая методика измерения электрических полей требует дальнейшего усовершенствования — уточнения теории усиления поля и дополнительных измерений концентрации частиц или тока, следует провести опыты по более детальному исследованию структуры электрических полей в ионосфере. Надо также указать, что рассмотренный механизм «усиления» внешнего электрического поля у стенок заряженного тела позволяет применить предлагаемую методику в исследованиях межпланетного пространства и, в частности, для изучения вопроса об электрической нейтральности Земли и Луны.

Литература

1. Б. Н. Гершман, В. Л. Гинзбург. Изв. высших учебных заведений. Радиофизика, 2, № 1, 8, 1958.
2. С. Е. McIlwain. J. Geophys. Res., 65, 2727, 1960.
3. С. К. Митра. Верхняя атмосфера. ИЛ, 1955.
4. S. J. Aca sof u, S. Ch ar m an. Philos. Trans. Roy. Soc., 253, 359, 1961.
5. Н. Мае da. J. Geomagn. Geoelectr., 7, 121, 1955; 9, 86, 1957; S. Kato. J. Geomagn. Geoelectr., 8, 24, 1956; 9, 107, 1957.
6. А. В. Гуревич, Е. Е. Цедилина. Геомагнетизм и аэрномия, 1, 1, 1961.
7. L. R. Megill, H. Rees, L. K. Droppelman. Planet. Space Sci., 11, 45, 1963.
8. Т. Овауа sh i. J. Geomagn. Geoelectr., 15, N 3, 133, 1964.
9. Г. Л. Гдалевич, И. М. Имянитов, Я. М. Шварц. Космические исследования, 3, № 1, 102, 1965.
10. Г. Л. Гдалевич. В сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 17. Изд-во АН СССР, 1963, стр. 42.
11. И. М. Имянитов, Г. Л. Гдалевич, Я. М. Шварц. В сб. «Искусственные спутники Земли», вып. 17. Изд-во АН СССР, 1963, стр. 66.
12. А. В. Гуревич. Космические исследования, 2, № 2, 232, 1964.
13. Л. Л. Горышник, А. Н. Дюкалов. Наст. сборник, стр. 267.
14. A. Kava das, D. W. Johnson. Space Res., 4, 365, 1964.