

Я. Л. АЛЬПЕРТ

**ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ СЛОЯ  $F_2$  ИОНОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ  
ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 20 МАЯ 1947 г.**

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 23 X 1947)

1. Во время полного солнечного затмения в Бразилии 20 мая 1947 г. проведены исследования слоя  $F_2$  ионосферы. Пункт наблюдений (Араша-Барейро:  $\lambda=46^{\circ}57'$  З.,  $\varphi=19^{\circ}38'$  Ю.) лежал почти на центральной линии затмения, где полная фаза на высоте 300 км над земной поверхностью продолжалась  $3^m 21^s$ , от  $12^h 23^m 24^s$  до  $12^h 26^m 45^s$ , при этом первый контакт произошел в  $11^h 13^m 31^s$ , а четвертый — в  $13^h 43^m 51^s$  по гриничскому времени\*.

Для наблюдений было использовано импульсное устройство, описанное ранее (1). Передающая установка находилась на расстоянии  $\sim 11$  км от приемной. Метод наблюдений заключался в следующем: на фиксированных частотах измерялись действующие высоты  $Z_1$  слоя  $F_2$ . На частоте в 9,5 Мгц, выбранной после предварительного ознакомления с состоянием ионосферы в месте наблюдений, проводились регулярные и почти непрерывные наблюдения. На других частотах — в диапазоне 5—12 Мгц — производились отдельные краткосрочные замеры в течение 1—2 мин. несколько раз в каждый сеанс наблюдений. Ввиду того что приемная и передающая установки были связаны специальной телефонной линией, обеспечивался быстрый (в течение 10—20 сек.) переход с одной частоты на другую по команде наблюдателя приемного пункта. Частота в 9,5 Мгц была выбрана потому, что она отражалась в интересовавший нас период времени суток в средней области слоя  $F_2$  — достаточно высоко от начала слоя и заметно ниже области максимальной его ионизации. Так, в период наблюдений критические частоты  $F_2$  изменялись в пределах 12—14 Мгц, отражения же от слоя  $F_2$  появлялись на 4—5 Мгц.

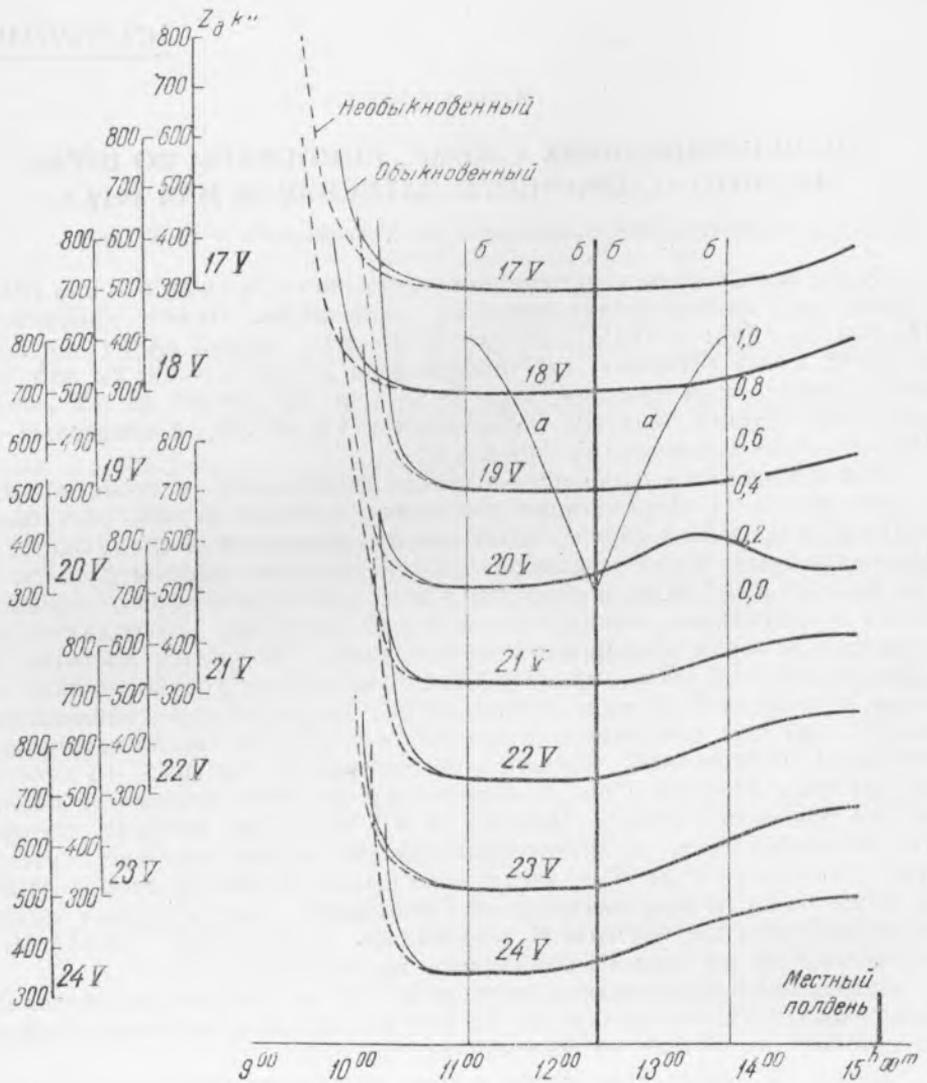
Наблюдения проводились регулярно с 17 по 24 мая включительно ежедневно с  $5^h 30^m$  —  $6^h 00^m$  до  $12^h 00^m$  по местному времени (примерно с  $9^h 00^m$  до  $15^h 00^m$  по гриничскому времени).

Общее состояние ионосферы в этот период времени было устойчивым, не замечалось каких-либо значительных краткосрочных колебаний как действующих высот, так и критических частот ионосферы. Суточный ход высотно-частотных характеристик, по данным измерений французской экспедиции, проводившихся в другом пункте ( $\varphi=20^{\circ}55'$  Ю.,  $\lambda=48^{\circ}43'$  З.), хорошо повторялся (с незначительными отклонениями) изо дня в день. Насколько нам известно, в этот период времени не заметны были какие-либо возмущения земного магнитного поля. Точность единичных замеров действующих высот слоя колебалась в пре-

\* Выражаю искреннюю благодарность члену-корреспонденту АН СССР А. А. Михайлову за проведенный для нас расчет этих данных.

делах  $\pm 5$  км. Измерения проходили надежно, без каких-либо перебоев.

2. Результаты измерений действующих высот  $Z_d$  на частоте 9,5 Мгц представлены на рис. 1. Для наглядности на одном рисунке приводятся высотные характеристики ионосферы, снятые в день затмения и за все контрольные дни наблюдений. Каждой из высотных характеристик соответствует на рисунке отдельная шкала  $Z_d$  км, которая помечена соответствующей датой (указан день наблюдений). На ри-



Гринвичское время  
Рис. 1

сунке нанесены линии  $bb$ , соответствующие моментам времени четырех контактов затмения на высоте 300 км над земной поверхностью, а также кривая  $aa$  — изменения степени покрытия солнечного диска за время затмения.

Из рисунка видно, что в начале наблюдений (до восхода Солнца) каждый день отсутствовали какие-либо отражения на 9,5 Мгц. Затем появлялся первоначально необыкновенный, а затем и обыкновенный

сигналы, которые в дальнейшем сливались в один сигнал. В период, соответствующий времени затмения,  $Z_d$  единичного сигнала была почти постоянной в течение 1—2 час., после чего начинался ее рост. С 17 по 24 мая заметно постепенное изменение высотных характеристик, заключающееся в том, что рост  $Z_d$  с каждым днем начинался все в более раннее время, причем к концу наблюдений  $Z_d$ , соответствующее времени местного полдня, достигало все большей величины. Во всем остальном ход высотных характеристик — одинаковый за разные дни.

Характерное отклонение высотной характеристики от обычной имело место в день затмения. А именно, незадолго до начала третьего контакта началось постепенное увеличение  $Z_d$ . Величина  $Z_d$  достигла максимума примерно через 40—50 мин. после полной фазы затмения, затем постепенно убывала и достигла нормальной величины лишь через 30—40 мин. после четвертого контакта. Максимальная величина изменения  $Z_d$  по сравнению с ожидаемой в это время, по данным контрольных наблюдений, достигла ~80 км и лежит далеко за пределами точности измерений.

Для дальнейшего необходимы результаты отдельных замеров (как в контрольные дни, так и в день затмения) величины  $Z_d$  на частотах 5 ÷ 6 Мгц, отражавшихся в области, близкой к началу слоя  $F_2^*$ . Эти результаты представлены на рис. 2 (5—6 Мгц, 17—24 V). Из рис. 2 видно, что в интересующий нас период времени величина  $Z_d$  для этих частот колебалась лишь в небольших пределах, порядка  $\pm 10$  км, что указывает на то, что высота начала слоя была еще более стабильной.

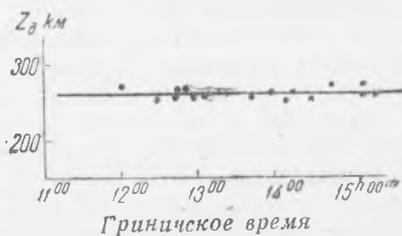


Рис. 2

Для дискуссии полученных данных использованы также результаты измерения критических частот, которые изредка проводились нами. Они хорошо согласуются с данными критических частот, любезно предоставленными нам французской экспедицией.

3. Переходим к анализу полученных данных. Если бы наблюдавшийся эффект изменения  $Z_d$  вызывался лишь изменением степени ионизации слоя, который сам по себе сохранял свою форму, то явление протекало бы иначе, чем это наблюдалось на опыте.

Примем, что слой имел параболическую форму\*\*. В этом случае величина  $Z_d$  должна была изменяться на величины, которые можно вычислить из формулы для  $Z_d$  параболического слоя, выведенной в приближении геометрической оптики (3). В этом случае

$$Z_{дн} = Z_m \frac{f}{f_c} \ln \frac{f_c + f}{f_c - f}, \quad (1)$$

где  $Z_{дн}$  — действующая высота, отсчитываемая от начала слоя,  $f$  — частота волны,  $f_c$  — критическая частота и  $Z_m$  — полутолщина слоя.

Полутолщину слоя при наших опытах в контрольные дни можно определить из (1) по измеренным значениям  $Z_d$  на разных частотах. Используя данные измерений на частоте  $f_1 = 5$  Мгц ( $Z_{д1} \cong 260$  км),  $f_2 = 9,5$  Мгц ( $Z_{д2} \cong 310$  км),  $f_3 = 11$  Мгц ( $Z_{д3} \cong 340$  км) и воспользо-

\* Следует отметить, что отражения от слоя  $F_2$  начинались на меньших частотах (4 ÷ 5 Мгц), однако, ввиду сильного поглощения на этих частотах, отраженные сигналы были очень слабыми, поэтому преимущественно велись измерения на 5—6 Мгц.

\*\* Рядом исследований показано, что слой  $F_2$  хорошо описывается параболой, в особенности в зимнее время (2).

вавшись значением критической частоты слоя  $f_c \cong 14,5$  Мгц, получаем из формулы (1), что в интересующий нас период времени  $Z_m \cong 65 \pm 5$  км.

Если бы  $Z_m$  сохраняло свою величину во время затмения, то в момент времени, соответствующий максимальному значению  $Z_d$ , когда  $f_c \cong 13,3$  Мгц, изменение ее величины по сравнению с обычной было бы равно  $\Delta Z_d \cong 15$  км (по формуле (1)). На опыте же наблюдалось  $\Delta Z_d \cong 80$  км. Дальнейшие вычисления показывают, что такая величина  $\Delta Z_d$  получится, если в это время  $Z_m \cong 115$  км.

Это обстоятельство указывает, что в период затмения, повидимому, происходило значительное расширение слоя, носившее такой характер, что высота начала слоя оставалась почти неизменной, а слой вытягивался вверх, так что области слоя, в которых отражались сигналы, также перемещались вверх. Рассмотрение общего хода высотных характеристик в контрольные дни показывает, что к полудню  $Z_d$  также увеличивалась, в то время как она должна была уменьшаться, если бы слой сохранял свою толщину, так как ионизация слоя при этом увеличивалась.

Из этого следует, что в контрольные дни к полудню также происходило заметное расширение слоя, усилившееся особенно к концу проведенного цикла опытов. Однако расширение слоя сопровождалось в это время и увеличением его ионизации, которая частично замедлила увеличение  $Z_d$ . Поэтому расширение слоя проявлялось ближе к полудню, когда темп роста ионизации уменьшался. Во время же затмения с уменьшением степени ионизации слоя эффект его расширения проявился в значительно большей мере.

Измеренные величины роста  $Z_d$  и времен, характеризующие его изменение, весьма важны, однако в настоящее время не могут быть использованы с теоретической стороны из-за отсутствия каких-либо как теоретических, так и экспериментальных представлений об этих процессах, происходящих в ионосфере как плазме в целом. Следует отметить, что эти вопросы представляют значительный интерес для слоя  $F_2$ , в котором много явлений, в частности относительно малые (наблюдавшиеся неоднократно) изменения критических частот  $f_c$  во время солнечных затмений, суточный ход  $f_c$  летом, годовой ход  $f_c$  и т. п., не имеют законченного и проверенного физического объяснения. Нам кажется, что многие из этих вопросов прояснятся при учете динамики и аэродинамики ионосферы в целом.

Приведенные выше данные и их анализ показывают, что применяемые до настоящего времени для характеристики слоя  $F_2$  измерения лишь критических частот являются недостаточными и часто не отражают тех явлений, которые в нем происходят. Для их анализа целесообразно рассматривать полную величину ионизации слоя и распределение ее по высоте, что в настоящее время вполне возможно.

В заключение выражаю искреннюю благодарность В. Л. Гинзбургу, А. А. Айнбергу и И. Б. Дохновскому за существенную помощь в опытах.

Лаборатория колебаний им. Л. И. Мандельштама  
Физического института им. П. Н. Лебедева  
Академии Наук СССР

Поступило  
23 X 1947

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Я. Л. Альперт и Б. Н. Горожанкин, Изв. АН СССР, сер. физ., 10, 245 (1945). <sup>2</sup> H. Booker and M. Seaton, Phys. Rev., 57, 87 (1940); O. Rydbeck, Phil. Mag., 30, 282 (1940). <sup>3</sup> Я. Л. Альперт, Распространение радиоволн в ионосфере, 1947, стр. 50, 118, 162.