

ТРУДЫ СИБИРСКОГО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

при Томском государственном университете имени В. В. Куйбышева

ВЫПУСК 41



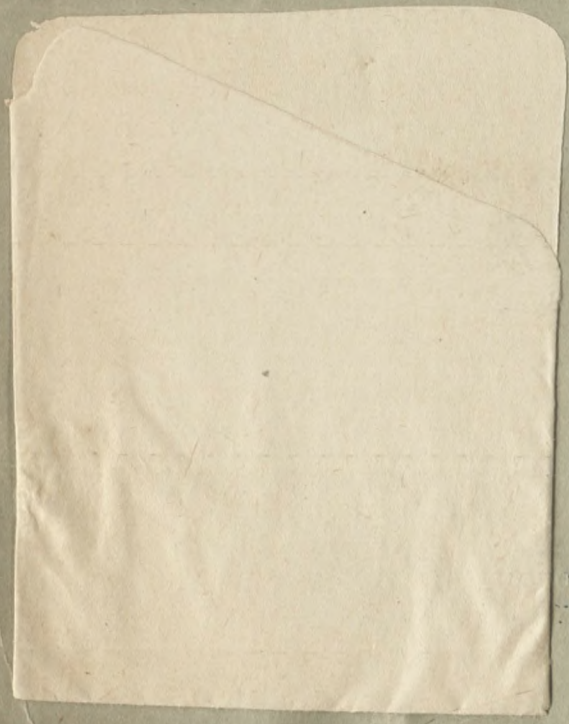
ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Томск — 1962

LIBRARY

OF THE

UNIVERSITY



ТРУДЫ

СИБИРСКОГО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

при Томском государственном университете имени В. В. Куйбышева

ВЫПУСК 41

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ИОНОСФЕРЫ
И МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ
ЗА ПЕРИОД МГГ И МГС

756487



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Томск — 1962

Ответственный редактор проф. В. Н. Кессених
Редактор тома доцент А. И. Лихачев

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ СОВЕТ

Проф. А. И. Данилов (председатель, ректор университета), проф. В. А. Пегель (зам. председателя), доц. Ю. В. Чистяков (зам. председателя), доц. Р. Н. Шербаков (ученый секретарь), директор издательства М. С. Змазнев, проф. Б. Г. Иоганзен, проф. В. Д. Кузнецов (академик АН СССР), проф. В. Н. Кессених, проф. П. П. Куфареv, проф. И. М. Разгон, проф. К. В. Савицкий, проф. М. В. Тронов, проф. В. А. Хахлов, проф. К. П. Ярошевский, доц. А. Р. Ананьев, доц. З. Я. Бояршинова, доц. М. А. Кривов, доц. А. А. Любавин, доц. Г. И. Назаров, ст. н. с. Н. В. Прикладов, доц. А. С. Самарин, доц. В. В. Серебrenников, директор Научной библиотеки М. Р. Филимонов, доц. В. С. Флеров, секретарь парткома Г. С. Пугач.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СВЯЗИ ДИНАМИКИ ИОНОСФЕРЫ С ДИНАМИКОЙ АТМОСФЕРЫ В ЦЕЛОМ

(Доклад, представленный на симпозиум по физике ионосферы в г. Томске,
24—26 июня 1961 г.)

В. Н. Кессених

1. ВВЕДЕНИЕ

Обработка материалов ионосферных наблюдений привела к значительному объему эмпирических данных о географических особенностях распределения электронной концентрации в атмосфере Земли по высоте и в зависимости от времени.

Для наблюдателя, изучающего многолетние статистические данные определенной ионосферной станции, основные эмпирические закономерности естественно связываются с местным солнечным временем и со склонением Солнца.

Вместе с тем, уже на сравнительно ранних стадиях ионосферных исследований для объяснения наблюдаемых особенностей суточного хода ионизации слоя F_2 стали выдвигаться предположения о роли макроскопических движений газовых масс верхней атмосферы в формировании пространственно-временного распределения электронной концентрации.

Регулярные движения проводящей области атмосферы с периодом в солнечные сутки были еще при возникновении гипотезы об атмосферном динамо поставлены в связь с солнечной вариацией горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля Земли.

Современные исследования ветров в ионосфере показывают, что реальные скорости перемещения газовых масс, определяемые оптическим и радиолокационным путем по наблюдениям за крупными неоднородностями, в частности, неоднородностями, создаваемыми путем инъекций, имеют порядок десятков метров в секунду. Скорости, определяемые методом разнесенного приема, достигают порядка скорости звука.

Данные об ионосферных ветрах в настоящее время не могут считаться достаточно полными для того, чтобы можно было оперировать определенными численными значениями таких величин как:

- а) усредненная по турбулентным движениям скорость перемещения воздушных масс по отношению к координатной системе, вращающейся вместе с Землей;
- б) скорость перемещения флуктуаций функции распределения свободных электронов.

При рассмотрении этих величин в применении к ионосфере необходимо учитывать, кроме всех механических полей, связанных с барическими и инерционными условиями, индукционные поля, увлечение плазмы магнитным полем Земли и ряд вторичных явлений, обусловленных перераспределением объемного заряда.

Построение достаточно полной картины динамики атмосферы в целом с переходом к характерным условиям космической электро-газодинамики в настоящее время представляется лишь как весьма актуальная, но далекая даже от первоначальной постановки проблема, хотя уже не раз ставился вопрос о расширении исследований в этом направлении.

В резолюции третьего совещания представителей стран европейско-азиатского региона (февраль 1959 года) по разделу VI — „ионосфера“ была дана по этому вопросу следующая рекомендация [17]: „Региональное совещание . . .

3. Рекомендует установить более тесное сотрудничество стран региона при разработке отдельных тем ионосферных исследований и признает целесообразным, чтобы ученые стран региона в ряде случаев, не претендуя на полноту охвата, разрабатывали следующую тематику:

в) исследование связи ионосферы с динамикой атмосферы в целом. При проведении этих работ следует изучать корреляцию сезонного хода среднемесячных характеристик ионосферы и изменений во всех слоях атмосферы с целью выяснения существования между верхней и нижней атмосферой связи, обусловленной динамическими процессами в атмосфере в целом.“

Рассматривая эту задачу как организационную задачу правильной координации усилий специалистов различных профилей по разрешению весьма сложной комплексной проблемы, необходимо отметить некоторые специфические трудности, которые здесь возникают.

Конкретный материал результатов ионосферных наблюдений, обработка которого является первоисточником постановки соответствующей проблемы, находится в поле зрения радиофизиков и радиотехников, не владеющих в достаточной степени современными методами геофизической газодинамики, начиная с основ газодинамики неионизированных атмосферных масс:

В связи с этим эмпирические обобщения, которые мы пытаемся делать в построении географических закономерностей в пространственно-временном распределении свободных электронов в атмосфере, явно страдают дилетантизмом.

С другой стороны, квалифицированные специалисты по вопросам динамики атмосферы либо стоят в стороне от большого материала ионосферных исследований, либо придают получаемым радиофизическим путем величинам слишком упрощенное толкование.

Для того, чтобы выйти из создавшегося положения, не следует, конечно, требовать от радиофизиков полного переключения на геофизическую газодинамику, а от гидро-аэромехаников переключения на усовершенствование экспериментальной методики и геофизической интерпретации результатов применения радиофизических методов исследования верхней атмосферы.

Первое, что здесь требуется, это установление систематического сотрудничества радиофизиков и гидро-аэромехаников в разработке названной комплексной проблемы.

Целью настоящего доклада является краткая характеристика существующих взглядов по вопросам связи динамики ионосферы с дина-

микой атмосферы в целом и постановка отдельных вопросов и тем, по которым желательна работа в ближайшее время.

2. Зональная циркуляция и вертикальный перенос энергии

В классических работах академика Н. Е. Кочина [1–3] по вопросам применения гидромеханики к движениям атмосферы отчетливо выявилась возможность как построения модели зональной циркуляции атмосферы, так и учета волновых движений в атмосфере как основы явлений динамической метеорологии.

Е. Н. Блинова в 1943 году [4] показала, что, исходя из уравнения Фридмана, определяющего изменение вектора вихря в субстанциальной системе координат:

$$\frac{d\vec{\Omega}}{dt} - (\vec{\Omega}\Delta)\vec{V} + \vec{\Omega} \operatorname{div} \vec{V} = -2\operatorname{rot}[\vec{\omega}\vec{V}] - \frac{1}{\rho T}[\operatorname{grad} T, \operatorname{grad} P],$$

где P — давление, ρ — плотность, T — температура, $\vec{V}$ — вектор скорости, $\vec{\Omega} = \operatorname{rot} \vec{V}$, $\vec{\omega}$ — вектор угловой скорости вращения Земли, может быть по методу возмущений построено поле скоростей, воспроизводящее по данному полю температуры Исландский и Алеутский минимумы, Азорский, Тихоокеанский, Сибирский и Канадский максимумы.

В дальнейших исследованиях в этом направлении значительная роль принадлежит работам Е. Н. Блиновой по методам длинных волн в бароклинной атмосфере [5, 6, 10].

В последнее время применением метода длинных волн интенсивно занимается группа Массачусетского технологического института и, в частности, Хайнс [20, 21].

Представляют интерес, основанные на значительном расчетном материале, полученном при помощи электронной счетной машины IBM 704 вычислительного центра М. Т. И., общие соображения Чарни и Дразина [21] о передаче энергии из тропосферы в верхнюю атмосферу.

Рассматривая волновой процесс как основу для передачи тепла и момента в верхнюю атмосферу, авторы показывают, что вертикальная неоднородность зональных ветров приводит во многих случаях к почти полной экранировке верхних слоев атмосферы от тропосферных запасов энергии.

Таким образом, авторы отвечают на ранее поставленный ими же недоуменный вопрос — чем объяснить, что при плотности кинетической энергии в нижней тропосфере порядка 10^3 эрг/см^3 , соответствующие волновые движения на уровне 100 км, где давление уменьшается в 10^6 раз, не приводят к тому, что температура газа повышается до 100000°K .

Важно отметить, что стабильная система зональных ветров согласно [21] надежно экранирует верхнюю атмосферу от нижней в механическом отношении так, что только в периоды равноденствий, когда происходит обращение зональных ветров, возможно просачивание энергии.

Что касается скорости распространения планетарных волн в вертикальном направлении, то она характеризуется величиной 5 км за сутки на средних широтах.

Рассматриваемая работа включает в себя анализ действия возмущающих факторов, таких, как сосредоточенное нагревание или охлаждение над континентами.

Весьма интересно, что авторы считают не имеющими физических оснований представления о воздействии на нижнюю атмосферу процессов, протекающих в верхней атмосфере и вызванных солнечной активностью.

Было весьма интересно продолжить указанные исследования в направлении *геофизической электрогазодинамики*.

3. Ветры, струйные течения и реальная картина электронной концентрации слоя F_2

Построение теоретической мировой карты электронной концентрации слоя F_2 развивается весьма медленно.

Определенный успех в направлении учета явлений диффузии был достигнут в работах В. М. Полякова и его учеников (1950—1958).

В 1960 году появилась работа Глиддона и Кендалла [18] по расчету мировой картины максимальной электронной концентрации в спокойной области F_2 без учета геомагнитного поля и ионосферных движений, но с учетом диффузии.

Примеры подобных расчетов климатологического характера по „математическому климату“ известны были и раньше [7].

Реальные перемещения воздушных масс в ионосфере со скоростью порядка 100 м/сек для средних широт должны вносить в картину „математической ионосферы“ серьезные изменения.

100 м/сек на широте 56° это значит, что в области, где существуют зональные ветры западного направления, может происходить „снос“ суточного хода электронной концентрации на 20 минут местного времени за 1 час, а при больших скоростях — до 1 часа на час, т. е. до кажущейся неизменности электронной концентрации.

В действительности такой снос распределения электронной концентрации должен быть значительно осложнен возникающей при движении среды по отношению к магнитному полю Земли электродвижущей силой.

Возникновение струйных течений в верхних слоях атмосферы может вносить также существенные изменения в ионосферную синоптику. Разумеется, что правильная интерпретация всех эмпирических сопоставлений, сделанных в этом направлении [11, 12, 13, 14, 15, 16], требует тщательного учета перемещений воздушных масс.

4. Постановка задачи о координации аэрономических и ионосферных исследований

Некоторые имеющиеся литературные данные, в особенности [21], делают на первый взгляд весьма маловероятным существование объективной связи между средними характеристиками ионосферы и тропосферы. Однако анализ этих данных показывает, что существует определенное различие в характере передачи энергии от нижней тропосферы к ионосфере для областей со стабильной и с нарушенной структурой зональных ветров.

Чрезвычайно примечательно, что периоды равноденствий, когда происходит обращение зональных ветров, характерны для ионосферы переходом от летнего к зимнему типу климатических характеристик [12, 13].

Устойчивый антициклональный тип циркуляции, по-видимому, соответствует резко выраженному зимнему (сибирскому) или летнему

(среднеазиатскому) типу поведения ионосферы. Это одно из направлений, заслуживающих внимание исследователей.

Вместе с тем малая скорость вертикального распространения планетарных волн подтверждает наши наблюдения об отсутствии корреляции ионосферных изменений с кратковременными изменениями синоптики тропосферы.

5. Заключение

Для того, чтобы разработка проблемы тропосфера-ионосфера приняла более научный характер, необходимо создание группы специалистов аэрогидромехаников, радиофизиков, теоретиков, специализирующихся в области вопросов физики плазмы и магнитогидродинамики, и геофизиков.

Эта группа, составленная из сотрудников ряда научных учреждений, должна была бы систематически обсуждать следующие основные вопросы:

- а) планы сбора и обработки экспериментального материала;
- б) основные методы статистической обработки;
- в) обоснование и выбор расчетных моделей;
- г) постановка задач перед конструкторами аппаратуры, обсуждения и выбор новых методов наблюдений.

За последнее время в литературе появился ряд обстоятельных монографий, посвященных вопросам физики атмосферы [8, 9].

Большой интерес представляет впервые появившаяся в литературе сводка расчетных и экспериментальных данных, посвященная тепловому режиму верхних слоев атмосферы [9].

В этой сводке, стоящей на уровне современного состояния ракетных и космонавтических исследований верхней атмосферы, отчетливо проявляется, однако, крайняя неполнота и противоречивость имеющихся данных.

Данное совещание, в котором принимают участие научные работники Сибирского отделения Академии наук СССР, Академии наук Казахской ССР, Академии наук Туркменской ССР, связанные многолетним сотрудничеством в области ионосферных исследований, как можно было понять из хода обсуждений, считает весьма актуальной задачу создания при Сибирском отделении Академии наук СССР в сотрудничестве с Томским университетом группы по изучению проблемы тропосфера — ионосфера на основе современных методов геофизической газодинамики.

Сосредоточение в Сибирском отделении Академии наук СССР крупных сил в области аэрогидромеханики и физики плазмы дает основание предполагать, что такая работа могла бы быть организована и успешно проведена в сравнительно короткие сроки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Е. Кочин, Об упрощении уравнений гидромеханики для случая общей циркуляции атмосферы, Собр. соч., т. I, стр. 287, Академиздат, 1949 (впервые опубликовано в 1936 г.).

2. Н. Е. Кочин, Построение модели зональной циркуляции атмосферы, Собр. соч., т. I, стр. 311 (впервые опубликовано в 1936 г.).

3. Н. Е. Кочин, Волновые движения в атмосфере, Собр. соч., т. I, стр. 349 (впервые опубликовано в 1937 г.).

4. Е. Н. Блинова, Гидродинамическая теория волн давления, температурных волн и центров действия атмосферы, ДАН СССР, 1943, 39, № 7, стр. 284.

5. Е. Н. Блинова, К вопросу об определении давления на уровне моря, ДАН СССР, 1953, 92, № 3, стр. 557.

6. Е. Н. Блинова, Метод решения нелинейной задачи об атмосферных движениях планетарного масштаба, ДАН СССР, 1956, т. 110, № 6, стр. 975.
7. М. Миланкович, Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата, перевод с немецкого А. Х. Хргиана, М., ОНТИ, 1939.
8. Е. П. Борисенков, Вопросы энергетики атмосферных процессов, Гидрометеиздат, Л., 1960.
9. К. Я. Кондратьев, О. П. Филиппович, Тепловой режим верхних слоев атмосферы, Гидрометеиздат, Л., 1960.
10. С. А. Машкович, Об эволюции длинных волн в бароклинной атмосфере, Метеор. и гидрол., 1961, № 2, стр. 3.
11. В. Н. Кессених, Возможные механизмы связи между синоптикой ионосферы и тропосферы, Исследования ионосферы и метеоров, Сб. 2, М., стр. 33 (доклад на симпозиуме V Ассамблеи СК МГТ, Москва, 1958 г.).
12. В. Н. Кессених, Некоторые особенности географического распределения максимальной электронной концентрации слоя F_2 над Уралом, Сибирью, Северным Кавказом и Средней Азией (1957—1958 гг.), исследования ионосферы, сб. 3, М., 1960, стр. 18.
13. В. Н. Кессених, Ионосферная климатология и материалы МГТ, Доклад на симпозиуме по физике ионосферы и распространению радиоволн, Ростов н/Д, 22 апреля 1960 г.
14. Т. С. Керблай, Некоторые особенности географического распределения f^oF_2 для высокой солнечной активности, Доклад, представленный на Лондонской ассамблее URSI в сентябре 1960 г.
15. Sh. Croom, Au. Robbins, J. O. Thomas, Variation of electron density in the ionosphere with magnetic dip, Nature, 185, 902, 1960.
16. R. Eyfrig, Zur Frage des Kontinentaleffektes der F_2 -Schichte, Geofisica pura e applicata, 44, III, 179, 1959.
17. Резолюции третьего совещания представителей стран европейско-азиатского региона, состоявшегося в Москве в период с 4 по 7 февраля 1959 года по вопросам МГТ—МГС, стр. 12, пункт „в“.
18. J. E. C. Gliddon and P. C. Kendall, Theoretical world curves of maximum ion density in a quiet F-region, J. Atm. Terr. Physics 18, 48, 1960.
19. C. O. Hines, Motions in the ionosphere, PIRE, 47 N° 2, 176, 1959.
20. C. O. Hines, An interpretation of certain ionospheric motions in terms of atmospheric waves, h. Geoph. Research, 64, 2210, 1959.
21. J. G. Charney and P. G. Drazin, Propagation of planetary-scale disturbances from the lower into the upper atmosphere, J. G. R. 66, N° 1, 83, 1961.

ТРУДЫ СИБИРСКОГО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

при Томском государственном университете имени В. В. Куйбышева

Вып. 41

1962

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРЫ В ТОМСКЕ ЗА 1960 ГОД

Ю. Н. Елизарьев

Приводятся экспериментальные данные вертикального зондирования ионосферы в г. Томске за 1960 год. Данные изменения суточной освещенной составляющей области F_2 сопоставлены с синусом зенитного угла Солнца. Изменение скорости ионизации области F_2 в течение года сопоставлено с количеством полной солнечной энергии, поступающим в атмосферу.

Вертикальное зондирование ионосферы в г. Томске в 1960 году, в соответствии с решением междугосударственного комитета МГГ, проводилось по программе Международного геофизического сотрудничества.

Программа междугосударственного комитета обуславливала проведение непрерывных наблюдений с 15-минутным интервалом на автоматической ионосферной станции. В ионосферной лаборатории СФТИ для наблюдений используется автоматическая ионосферная станция.

Автоматическая подстройка частоты приемника и передатчика позволяла проводить сеанс наблюдений в диапазоне частот от 1 до 18 мГц в течение 20 сек.

В задачу ионосферной станции, работающей по программе МГС, входило определение тех же ионосферных характеристик, что и в период МГГ.

Кроме того, ежемесячно назначались три Регулярных Мировых дня (РМД) и Специальный интервал наблюдений (СИН).

Обработанные результаты измерений за 1960 год представлены в виде таблиц (табл. 2—13) и графиков (рис. 1—8) медианных значений определяемых параметров F_2 , F_1 , E и E_s областей ионосферы.

1. Критические частоты ионосферы

По данным табл. 2 — 13 на рис. 1 нанесен ход медианных значений критических частот области F_2 в полдень и в полночь (за 13^h и 01^h местного декретного времени) и минимальных критических частот (f^oF_{2min}) за каждый месяц. Из рисунка видно, что полуденные (максимальные) и минимальные критические частоты изменялись в соответствии с годовой закономерностью состояния ионизации области.

Наибольшего значения критические частоты достигали зимой (январь) и равнялись 13,2 мГц. Наименьшее значение критических частот области F_2 в полдень имеет место летом и равно 7,4 мГц.

Если взять наибольшее (зимнее) и наименьшее (летнее) полуденные значения критических частот области F_2 за 1959 год, то они оказываются равными 13,8 и 7,8 мГц. Таким образом, видно, что

общее состояние ионизации на протяжении этого года достаточно высокое. Наблюдаемое снижение ионизации в 1960 году относительно 1959 года незначительно и соответственно равно 0,6 и 0,4 мГц для зимы и лета. Характеризуя его разностью отношений зимних максимальных критических частот к летним $\left(\frac{f^{\circ}F2_{\max. \text{ зима}}}{f^{\circ}F2_{\max. \text{ лето}}} \right)$, получаем, что

понижение ионизации в 1960 году составляет всего $\approx 0,12$ относительно лет максимума солнечной активности (1957 — 1958 гг.). Далее, поскольку понижение ионизации в 1960 году относительно 1959 года очень незначительно, то разность отношений зимних максимальных критических частот к летним для этих лет равна примерно нулю.

Максимальные годовые значения критических частот областей E и $F1$ (рис. 2) в 1960 году также незначительно снизились относительно таких же значений для 1959 года. Если в 1959 году максимальное годовое значение критических частот области E было равно 4,0 мГц, а для области $F1$ — 6,0 мГц, то в 1960 году они соответственно были равны 3,65 и 5,2 мГц.

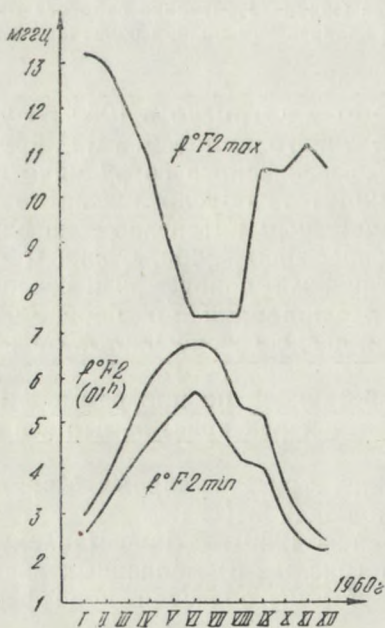


Рис. 1

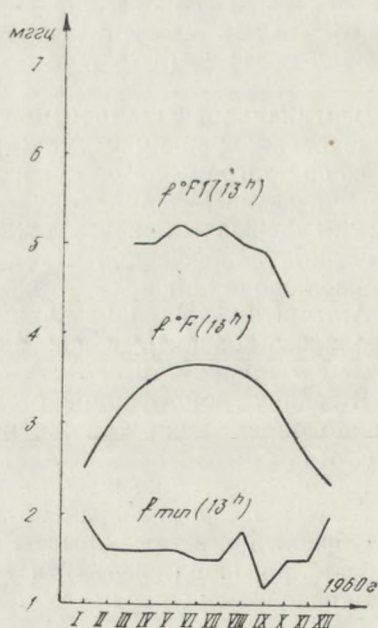


Рис. 2

Таким образом, можно констатировать по изменению состояния ионизации, что 1960 год так же, как и 1959 год, стоит близко к максимуму солнечной активности, но уже на спаде данного цикла.

Медианные значения минимальных критических частот области $F2$ на протяжении 1960 года изменялись в пределах от 2,2 (зима) до 5,7 мГц. (лето) и характер этого изменения подобен годовому ходу критических частот области $F2$ в полночь (01^h). Разница между значениями критических частот в полночь и минимальными критическими частотами колебалась от 0,2 до 1,4 мГц.

Максимальные и минимальные критические частоты области $F2$ в летние месяцы отличались друг от друга на 1,7 мГц. Зимой, в первую половину года, эта разница достигла 10,7 мГц.

На рис. 2 также приводятся медианные значения полуденных минимальных частот отражения от ионосферы за 1960 год. Какой-либо определенной закономерности в характере изменения $f_{\min}$ не наблюдалось. Значения в 1960 году остались приблизительно на уровне значений 1959 года.

Если максимальное значение $f_{\min}$ для 1959 года было равно 2,2 мГц (зима) и минимальное — 1,1 мГц (лето), то для 1960 года они были соответственно равны 2,0 и 1,2 мГц.

Интересно отметить еще тот факт, что увеличение минимальных частот отражения от ионосферы в январе, августе и декабре 1960 года соответствует повышенному поглощению радиоволн в полдень для этих месяцев.

Полуденные медианные значения коэффициента $M-3000$, определяемого для областей $F2$ и $F1$, представлены на рис. 3. Как видно из этого рисунка, изменение коэффициента ($M-3000$) $F2$ имеет сезонную закономерность. Наибольшее значение ($M-3000$) $F2$ достигает зимой и наименьшее — летом, которые соответственно были равны 3,35 и 2,65. Значения коэффициента ($M-3000$) $F2$ в 1960 году также остались приблизительно на уровне значений 1959 года, для которого максимальное значение было равно 3,0 и минимальное — 2,6.

Характер изменения коэффициента ($M-3000$) $F1$ иной, чем для области $F2$. В сезонном ходе этого коэффициента не обнаружилось какой-либо вполне определенной закономерности. Наибольшего значения коэффициент ($M-3000$) $F1$ достигал в марте и наименьшего в июне и августе, которые соответственно были равны 3,85 и 3,55.

График, представленный на рис. 4, показывает изменение приращения среднемесячных значений критических частот области $F2$ от утреннего минимума до полудня (параметр $f^{\circ}F2 \sim$). На этом же графике приведена кривая изменения синуса зенитного угла Солнца. Как видно из рисунка, корреляция хода обеих кривых достаточно высока, что подтверждает наши исследования о закономерности изменения параметра $f^{\circ}F2 \sim$ в течение года по закону синуса зенитного угла Солнца (1).

На рис. 5 показан график изменения сезонной скорости нарастания ионизации области $F2$ в первую половину дня от утреннего минимума критических частот (параметр $V_{\text{ион.}}$). Данный параметр определялся следующим образом. Для каждого месяца строился f -график из медианных значений критических частот. Из графиков видно, что рост ионизации от утреннего минимума критических частот области $F2$ в первую половину дня протекает по почти линейному закону. Поэтому через участок f -графика, где имеет место наибольший рост критических частот, проводилась прямая линия, образующая некоторый угол α° с осью времени. Затем определялся $\text{tg } \alpha^{\circ}$ для каждого

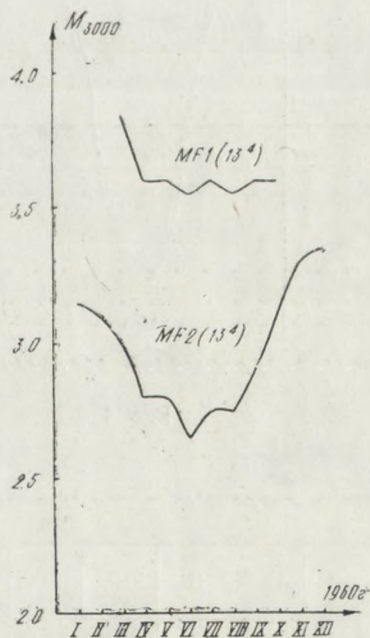


Рис. 3

месяца, который характеризует собой скорость нарастания ионизации. Данные подсчета $V_{\text{ион.}} (\text{tg } \alpha^\circ)$ за 1960 год приведены в табл. 1. По данным этой таблицы построен график изменения $V_{\text{ион.}}$, представленный на рис. 5. Здесь же для сопоставления приведен график функции $\Phi(I_0) = I_{0 \text{ max}} + I_{0 \text{ min}} - I_0 = A - I_0$, где I_0 — количество полной солнечной энергии, поступающее в атмосферу в разные времена года и рассчитанное для широты г. Томска на 15-е число каждого месяца; A — постоянная величина для данного года и равная сумме максимального и минимального значений годового хода функции I_0 .

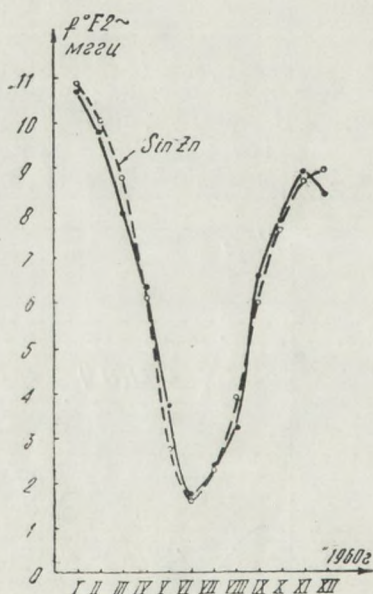


Рис. 4

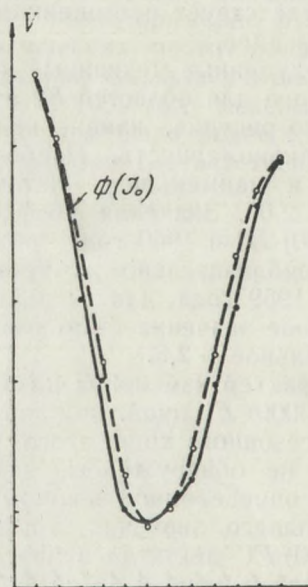


Рис. 5

В качестве единицы измерения солнечной энергии использованы так называемые экваториальные часы.

Таблица 1

1960 г.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$V_{\text{ион.}}$	7,596	6,561	4,915	3,078	1,150	0,949	1,235	1,570	2,989	4,165	5,671	6,314
I_0	1,1	2,1	3,8	5,8	7,6	8,45	8,1	6,8	4,85	2,7	1,35	0,7
$\Phi(I_0)$	8,05	7,05	5,35	3,35	1,55	0,70	1,05	2,35	4,30	6,45	7,80	8,45

Как видно из рисунка, между этими кривыми существует достаточно хорошая корреляция. А так как функции Φ и I_0 связаны между собой обратной зависимостью, то это является подтверждением наших исследований о том, что между годовым ходом скорости нарастания ионизации области F2 в первую половину дня и количеством полной солнечной энергии, поступающим в атмосферу, существует обратная зависимость (2).

2. Высоты основных областей ионосферы

Изменение медианных значений кажущихся высот областей E , $F1$ и $F2$ в полдень по месяцам приведено на рис. 6. Нетрудно видеть, что характер изменения этих высот областей $F1$ и $F2$ имеет хорошо выраженную сезонную закономерность. В годовом ходе изменения кажущейся высоты области E такой закономерности не наблюдалось.

Полуденные значения действующих высот областей E , $F1$ и $F2$ в 1960 году изменялись в несколько меньших пределах, чем в 1959 году. Кроме того, нижняя граница этих областей в полдень располагалась на более низких уровнях высоты по сравнению с высотами расположения 1959 года.

Если пределы изменения $h'E(13^h)$ в 1959 году лежали от 100 (лето) до 130 км (зима), то в 1960 году — от 100 (лето) до 110 км (зима).

Высоты области $F1$ достигали наименьшего значения 200 км летом и наибольшего — 230 км осенью, в то время как в 1959 году они соответственно были равны 210 и 225 — 240 км.

Высоты нижней границы отражения от области $F2$ в полдень в 1960 году изменялись от 220 (зима) до 380 км (лето), а в 1959 году — от 230 зимой до 450 км летом.

В верхней части рис. 6 показан годовой ход изменения высот области $F2$, соответствующих минимальным критическим частотам и в полночь (01^h). Характер изменения их не соответствует поведению критических частот в эти часы. Действительно, если минимальные критические частоты и критические частоты в полночь имеют до некоторой степени параллельный ход изменения (рис. 1), то высоты в соответствующие часы носят противоположный характер изменения. Причем, значения действующей высоты области $F2$ в летнюю полночь ниже значений высоты, соответствующей по времени минимальным критическим частотам.

Действующая высота области $F2$ в полночь в течение 1960 года изменялась от 250 (лето) до 300 км (зима), а высота, соответствующая по времени минимальным критическим частотам ($h'F2_{fF2_{min}}$), изменялась от 250 (зима) до 300 км (лето).

Кривые рис. 7 описывают поведение медианных значений высот максимума ионизации области $F2$ в полдень и в полночь. Видно, что h^pF2 в полдень имеет хорошо выраженную годовую закономерность, которая для полночи выражена менее отчетливо.

Наименьшего значения (300 км) h^pF2 в полдень достигала в зимние месяцы и наибольшего (395 км) — летом. Значения высоты максимума ионизации области $F2$ в полночь изменялись в пределах от 355 (лето) до 405 км (зима).

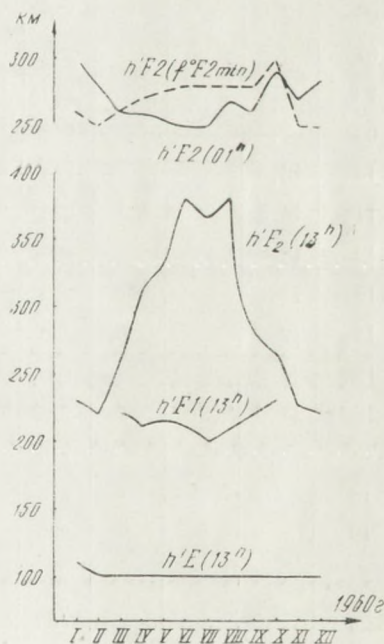


Рис. 6

Ионосферные данные

Таблица 2

Томск
Медианные значения

Январь 1960 г.
Время 90°E

Время	f^oF2	$h'F2$	f^oF1	$h'F$	f^oE	$h'E$	f^oE_s	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	3,0			300			E	100	404	2,60
01	3,0			300			E	100	400	2,60
02	3,0			300			E	105	410	2,55
03	3,0			300			E	110	405	2,60
04	3,0			300			E	100	390	2,65
05	2,9			275			E	105	370	2,75
06	2,6			270			E	105	350	2,80
07	2,5			260			E	110	340	2,85
08	4,1			250	1,40	E	G	110	350	2,85
09	7,4			230	1,90	110	2,0	100	290	3,15
10	10,2			225	2,25	110	G	105	290	3,20
11	11,5			225	2,45	110	G	100	300	3,20
12	12,8			230	2,50	110	G	100	300	3,15
13	13,2			225	2,55	110	G	100	300	3,10
14	12,5			220	2,45	120	G	100	300	3,10
15	11,8			220	2,20	125	2,0	100	300	3,10
16	11,0			220	2,00	130	2,0	110	310	3,05
17	9,8			215	E	E	1,5	105	300	3,10
18	7,7			215			E	110	300	3,10
19	5,9			220			E	100	300	3,05
20	4,4			230			E	105	310	3,00
21	3,8			245			E	105	330	2,90
22	3,2			260			E	105	355	2,80
23	3,0			280			E	105	390	2,70

Продолжительность измерений от 1,0 до 18,0 мггц—20 сек.
Станция автоматическая.

Ионосферные данные										
Томск					Февраль 1960 г.					
Медианные значения					Время 90°E					
Вре- мя	f^oF2	$h'F2$	f^oF1	$h'F$	f^oE	$h'E$	f^oE_s	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	3,8			280			E	112	400	2,60
01	3,8			275			E	102	400	2,60
02	3,8			290			E	105	400	2,55
03	3,7			280			E	108	400	2,65
04	3,6			270			E	118	390	2,65
05	3,6			265			E	115	380	2,70
06	3,2			250			E	105	345	2,80
07	3,5			250	1,30	E	E	100	330	2,95
08	6,1			235	1,70	120	G	110	300	3,15
09	8,7			230	2,20	110	G	115	280	3,25
10	10,6			230	2,58	110	G	115	290	3,15
11	12,0			220	2,80	105	G	115	300	3,15
12	12,6			220	3,00	100	G	108	300	3,10
13	12,3			220	3,00	100	G	110	300	3,05
14	12,6			220	2,85	105	G	108	305	3,05
15	12,2			220	2,60	105	G	100	310	5,05
16	11,5			220	2,20	110	G	100	300	3,10
17	11,0			220	1,80	120	G	100	300	3,10
18	9,8			210	1,20	E	G	115	300	3,10
19	8,2			210			E	102	305	3,15
20	6,6			215			E	105	310	3,05
21	5,4			230			E	140	330	2,90
22	4,7			240			E	120	345	2,85
23	4,0			250			E	105	370	2,75

Продолжительность измерений от 10 до 18,0 мзгц—20 сек.
Станция автоматическая.

Ионосферные данные

Таблица 4

Томск
Медианные значения

Март 1960 г.
Время 90°E

Вре- мя	$f^{\circ}F2$	$h'F2$	$f^{\circ}F1$	$h'F$	$f^{\circ}E$	$h'E$	$f^{\circ}F_s$	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	4,9			260			E	105	385	2,65
01	4,6			270			E	105	390	2,65
02	4,3			270			E	105	400	2,60
03	4,1			270			E	120	380	2,65
04	4,1			265			E	110	380	2,70
05	4,0			260			E	115	370	2,70
06	4,2			255	1,30	E	G	100	340	2,95
07	6,1			240	1,90	110	G	100	300	3,10
08	8,1			230	2,40	110	G	120	300	3,10
09	9,6	240	L	230	2,80	105	G	115	300	3,10
10	10,8	250	4,8	230	3,00	105	G	110	310	3,05
11	11,5	250	4,8	225	3,10	100	G	110	310	3,05
12	12,0	255	5,0	220	3,20	100	G	115	325	3,00
13	12,0	250	4,8	220	3,20	100	G	110	320	3,00
14	12,0	250	4,6	225	3,15	100	G	120	325	3,00
15	11,6	250	4,8	230	3,00	100	G	105	320	3,00
16	11,3	255	3,8	235	2,80	110	G	110	320	3,00
17	11,0			230	2,40	110	G	100	315	3,00
18	10,0			225	1,90	120	G	105	310	3,05
19	8,8			220	1,30	E	G	100	320	3,00
20	7,7			225	1,15	E	E	100	330	2,95
21	6,6			230			E	110	330	2,95
22	6,0			240			E	110	340	2,90
23	5,2			250			E	110	370	2,75

Продолжительность измерений от 1,0 до 18 мГц—20 сек. Станция автомат.

Ионосферные данные

Таблица 5

Томск

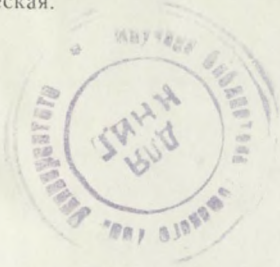
Апрель 1960 г.

Медианные значения

Время 90°E

Вре- мя	$f^{\circ}F2$	$h'F2$	$f^{\circ}F1$	$h'F$	$f^{\circ}E$	$h'E$	$f^{\circ}E_s$	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	6,0			260			E	105	390	2,65
01	5,6			275			E	110	400	2,60
02	5,2			280			E	105	400	2,60
03	4,9			280			E	100	400	2,60
04	4,6			275	1,20	E	E	100	380	2,65
05	4,6			270	1,60	E	G	115	350	2,85
06	5,5	475	4,0	250	2,00	110	G	115	325	2,95
07	6,6	520	3,9	240	2,50	100	G	115	320	3,00
08	8,2	600	4,2	230	2,90	100	G	135	320	2,95
09	8,1	440	4,4	225	3,10	100	G	120	330	2,90
10	9,5	390	4,8	220	3,35	100	G	110	340	2,80
11	9,7	320	5,0	220	3,50	100	G	110	350	2,80
12	10,3	310	5,0	210	3,50	100	G	110	350	2,80
13	10,6	300	5,0	220	3,50	100	G	110	350	2,80
14	10,9	340	5,0	220	3,40	100	G	105	350	2,85
15	10,5	300	4,8	225	3,20	100	G	110	345	2,85
16	10,2	300	4,5	230	3,05	100	G	110	340	2,85
17	9,8	355	4,0	240	2,80	100	G	115	330	2,90
18	10,0	360	4,0	240	2,40	105	G	100	330	2,95
19	9,6	280	3,0	240	1,95	125	G	120	330	2,95
20	9,0			240	1,25	E	1,3	120	340	2,90
21	8,2			240			1,5	115	350	2,85
22	7,4			245			E	115	360	2,75
23	6,6			250			E	110	370	2,75

Продолжительность измерений от 1,0 до 18 мГц—20 сек. Станция автоматическая.



Ионосферные данные

Таблица 6

Томск
Медианные значения

Май 1960 г.
Время 90°E

Время	f^oF2	$h'F2$	f^oF1	$h'F$	f^oE	$h'E$	f^oE_s	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	6,5			255			E	105	380	2,70
01	6,2			260			1,3	100	370	2,70
02	5,7			270			E	100	380	2,70
03	5,2			275	E	E	G	100	375	2,70
04	5,5			280	1,60	110	G	100	375	2,70
05	5,5	345	3,5	260	2,10	105	2,0	100	360	2,75
06	6,2	345	4,0	245	2,50	100	G	120	360	2,80
07	6,4	395	4,4	230	2,90	100	G	120	360	2,80
08	6,8	355	4,8	230	3,15	100	3,5	120	360	2,75
09	7,0	380	5,0	220	3,35	100	3,9	115	355	2,80
10	7,8	330	5,0	220	3,55	100	4,0	110	360	2,80
11	8,5	330	5,2	215	3,60	100	4,0	110	360	2,75
12	8,8	330	5,2	215	3,65	100	4,0	110	360	2,80
13	8,9	340	5,2	210	3,65	100	3,8	110	355	2,80
14	8,8	325	5,2	220	3,60	100	G	110	350	2,80
15	8,5	310	5,0	220	3,45	100	G	105	350	2,85
16	8,3	310	5,0	225	3,25	100	2,5	100	340	2,85
17	8,0	300	4,6	235	3,00	100	G	110	330	2,90
18	8,0	305	4,3	240	2,70	100	G	120	330	2,95
19	7,7	300	3,6	250	2,30	105	2,6	120	330	2,90
20	7,9			250	1,90	110	2,4	120	330	2,90
21	8,0			250	1,50	E	2,7	115	340	2,85
22	7,7			250			2,0	110	360	2,80
23	7,2			250			1,8	105	370	2,75

Продолжительность измерений от 1,0 до 18,0 мГц—20 сек. Станция автоматическая.

Ионосферные данные

Таблица 7

Томск
Медианные значения

Июнь 1960 г.
Время 90° E

Время	f^oF2	$h'F2$	f^oF1	$h'F$	f^oE	$h'E$	f^oE_s	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	6,8			250			2,5	100	380	2,75
01	6,4			260			2,2	100	380	2,70
02	6,0			270			1,8	100	380	2,65
03	5,7			280	1,30	140	G	100	380	2,70
04	5,7			280	1,80	100	2,0	100	370	2,70
05	6,0	350	3,6	250	2,25	105	2,3	120	380	2,65
06	6,4	350	4,1	245	2,60	100	G	120	380	2,70
07	6,5	365	4,5	230	3,00	100	3,4	120	375	2,70
08	6,4	370	4,7	225	3,20	100	3,0	115	380	2,70
09	6,6	400	4,9	225	3,40	100	4,2	110	400	2,70
10	6,8	420	5,0	220	3,60	100	4,0	110	390	2,65
11	7,0	400	5,1	210	3,60	100	4,1	110	410	2,65
12	7,4	380	5,1	210	3,65	100	4,0	105	390	2,65
13	7,4	370	5,1	205	3,65	100	4,0	100	380	2,75
14	7,2	375	5,1	205	3,60	100	4,0	100	380	2,70
15	7,1	360	5,0	210	3,50	100	3,5	100	370	2,75
16	7,0	350	5,0	225	3,35	100	3,5	105	360	2,80
17	7,0	340	4,7	225	3,20	100	G	115	355	2,85
18	7,0	325	4,4	240	2,95	100	G	130	350	2,85
19	7,0	330	—	250	2,50	100	2,7	125	340	2,90
20	7,1			255	2,10	115	2,8	125	340	2,90
21	7,1			255	1,60	110	2,6	115	340	2,85
22	7,3			250	1,20	E	2,8	110	360	2,80
23	7,1			250			2,8	110	370	2,75

Продолжительность измерений от 1,0 до 18,0 мгц—20 сек.

Станция автоматическая.

Таблица 8

Ионосферные данные

Томск
Медианные значения

Июль 1960 г.
Время 90° E

Время	$f^{\circ}F2$	$h'F2$	$f^{\circ}F1$	$h'F$	$f^{\circ}E$	$h'E$	$f^{\circ}E_s$	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	6,5			250			1,8	105	360	2,80
01	6,0			260			1,9	105	370	2,80
02	5,4			270			1,8	100	380	2,70
03	5,2			280	1,15	<i>E</i>	2,3	100	370	2,75
04	5,0	350	—	280	1,70	100	2,1	100	370	2,75
05	5,5	350	3,5	260	2,10	100	2,0	100	360	2,80
06	6,0	350	4,0	245	2,50	100	2,8	115	360	2,80
07	6,2	350	4,4	230	2,95	100	3,8	120	360	2,75
08	6,2	370	4,7	230	3,20	100	4,3	115	370	2,75
09	6,7	375	4,9	220	3,40	100	4,3	110	360	2,70
10	6,9	380	5,0	215	3,60	100	4,0	110	370	2,70
11	7,0	380	5,0	205	3,60	100	4,0	110	370	2,75
12	7,2	365	5,2	200	3,60	100	4,0	105	375	2,75
13	7,4	370	5,2	200	3,65	100	3,9	105	370	2,80
14	7,3	365	5,2	205	3,60	100	3,8	105	370	2,75
15	7,3	350	5,1	210	3,50	100	3,6	105	365	2,80
16	7,3	345	5,0	210	3,30	100	<i>G</i>	110	360	2,85
17	7,1	325	4,6	225	3,10	100	3,2	110	345	2,90
18	7,1	310	4,3	230	2,90	100	<i>G</i>	120	340	2,90
19	7,2	320	3,6	250	2,50	105	3,0	120	340	2,95
20	7,2	310	2,8	250	2,00	115	2,9	120	330	2,90
21	7,2			250	1,50	120	2,8	120	340	2,90
22	7,2			250	<i>E</i>	<i>E</i>	3,3	110	350	2,85
23	7,0			250			2,0	110	350	2,80

Продолжительность измерений от 1,0 до 18,0 мгц—20 сек. Станция автоматическая.

Ионосферные данные

Таблица 9

Томск
Медианные значения

Август 1960 г.
Время 90°E

Время	f^oF2	$h'F2$	f^oF1	$h'F$	f^oE	$h'E$	f^oE_s	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	5,4			270			1,7	110	375	2,80
01	5,1			270			E	105	380	2,70
02	4,8			290			E	105	390	2,70
03	4,4			280			E	105	380	2,70
04	4,2			280	E	E	1,5	110	370	2,75
05	4,6			260	1,8	120	2,0	105	350	2,85
06	5,3			250	2,3	110	2,0	120	340	2,90
07	5,8	385	4,3	245	2,7	105	3,2	120	350	2,85
08	5,9	410	4,7	230	3,05	100	4,0	120	365	2,80
09	6,2	375	4,9	230	3,25	100	4,0	115	365	2,85
10	6,5	370	5,0	230	3,4	100	4,0	110	360	2,80
11	6,8	380	5,0	220	3,55	100	4,0	110	350	2,80
12	6,9	380	5,0	210	3,6	100	4,0	110	370	2,75
13	7,1	360	5,2	210	3,6	100	3,8	110	360	2,90
14	7,3	345	5,0	215	3,55	100	G	110	360	2,80
15	7,4	330	5,0	220	3,4	100	3,6	110	345	2,90
16	7,4	320	4,8	225	3,2	100	3,4	110	350	2,90
17	7,3	300	4,4	235	3,0	100	3,3	110	330	2,95
18	7,1	350	4,1	250	2,7	105	3,0	120	325	2,95
19	7,0			250	2,2	120	2,8	120	325	3,00
20	7,1			250	1,9	110	2,3	115	330	2,95
21	7,0			250	E	E	2,9	110	350	2,85
22	6,6			250			2,3	110	360	2,80
23	6,2			270			2,1	110	370	2,75

Продолжительность измерений от 1,0 до 18,0 мГц—20 сек. Станция автоматическая.

Ионосферные данные

Таблица 10

Томск
Медианные значения

Сентябрь 1960 г.
Время 90°E

Время	$f^{\circ}F2$	$h'F2$	$f^{\circ}F1$	$h'F$	$f^{\circ}E$	$h'F$	$f^{\circ}E_s$	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	5,2			260			1,5	100	390	2,70
01	4,8			280			1,3	100	400	2,65
02	4,6			280			1,3	100	400	2,60
03	4,4			290			<i>E</i>	100	410	2,60
04	4,2			290			1,3	105	400	2,60
05	4,0			280	<i>E</i>	<i>E</i>	1,5	100	380	2,70
06	5,0			255	1,80	120	1,6	100	330	2,95
07	6,4	490	4,0	250	2,30	110	2,0	105	310	3,05
08	7,3	400	4,2	240	2,70	105	2,4	110	310	3,10
09	8,0	300	4,6	235	3,00	100	3,0	110	320	3,00
10	9,2	300	5,0	225	3,20	100	3,2	110	330	3,00
11	10,0	300	5,0	225	3,35	100	3,4	110	335	3,00
12	10,4	280	4,9	220	3,40	100	3,5	110	340	2,90
13	10,6	310	5,0	215	3,40	100	<i>G</i>	105	340	2,90
14	10,6	310	4,8	220	3,30	100	<i>G</i>	100	350	2,90
15	10,1	295	4,5	230	3,15	100	<i>G</i>	100	350	2,95
16	10,0	300	4,2	240	2,95	100	<i>G</i>	100	340	2,95
17	9,5	365	4,0	240	2,60	100	2,0	100	325	3,00
18	9,3			240	2,10	110	2,1	100	315	3,05
19	8,5			235	1,50	130	1,9	100	330	2,95
20	7,8			235	<i>E</i>	<i>E</i>	1,4	100	340	2,90
21	7,1			245			1,6	110	340	2,90
22	6,2			250			1,6	110	360	2,85
23	5,8			250			1,6	100	370	2,80

Продолжительность измерений от 1,0 до 18,0 мзгц—20 сек. Станция автоматическая.

Ионосферные данные

Таблица 11

Томск
Медианные значения

Октябрь 1960 г.
Время 90°E

Время	$f^{\circ}F2$	$h'F2$	$f^{\circ}F1$	$h'F$	$f^{\circ}E$	$h'E$	$f^{\circ}E_s$	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	3,6			290			E	100	400	2,60
01	3,6			300			1,3	100	410	2,60
02	3,3			300			1,6	100	410	2,60
03	3,2			310			1,5	100	400	2,60
04	3,1			295			E	100	400	2,65
05	2,8			300			2,0	100	400	2,65
06	3,1			280	1,40	E	2,0	100	370	2,75
07	5,0			260	1,80	110	2,0	100	315	3,00
08	6,2	G	3,2	245	2,30	100	2,0	100	295	3,20
09	7,8	370	3,5	240	2,65	105	2,4	100	295	3,15
10	8,9	350	4,3	230	2,90	100	2,5	110	305	3,15
11	9,7	355	4,4	230	3,00	100	2,8	110	310	3,10
12	10,1	265	4,4	230	3,00	100	2,6	110	310	3,10
13	10,6	280	4,3	225	3,00	100	2,5	105	320	3,10
14	10,6	250	3,8	230	2,80	100	2,2	100	320	3,10
15	10,1	260	3,6	230	2,60	100	2,2	100	310	3,10
16	9,4	L	L	230	2,30	100	2,1	100	310	3,10
17	8,6	700	3,6	225	2,00	105	2,1	100	300	3,15
18	7,7			225	1,40	E	2,0	100	315	3,10
19	6,4			230			2,3	100	320	3,00
20	5,8			240			1,8	100	350	2,90
21	4,8			250			E	100	350	2,85
22	4,2			270			E	110	370	2,80
23	3,6			285			1,5	110	380	2,70

Продолжительность измерений от 1,0 до 18,00 мГц—20 сек. Станция автоматическая.

Т а б л и ц а 12

Ионосферные данные

Томск
Медианные значения

Ноябрь 1960 г.
Время 90°E.

Время	$f^{\circ}F2$	$h'F2$	$f^{\circ}F1$	$h'F$	$f^{\circ}E$	$h'E$	$f^{\circ}E_s$	$h'E_s$	h^pF2	$F2-M3000$
00	2,8			270			E	100	370	2,75
01	2,9			280			1,5	100	380	2,70
02	2,7			295			2,0	100	400	2,60
03	2,7			300			1,6	100	390	2,65
04	2,6			280			1,9	105	380	2,70
05	2,4			270			1,4	100	370	2,80
06	2,3			250			E	100	350	2,95
07	3,2			250	1,15	E	1,3	100	340	2,90
08	5,1			230	1,75	110	2,1	100	290	3,20
09	7,9			225	2,20	100	2,3	105	280	3,35
10	9,3			225	2,40	100	2,4	100	280	3,30
11	10,5			225	2,60	100	2,1	100	285	3,30
12	10,7			225	2,60	100	2,00	100	285	3,30
13	11,0			225	2,60	100	2,6	100	285	3,30
14	11,2			220	2,55	100	2,6	100	290	3,25
15	10,6			220	2,25	110	2,3	100	290	3,30
16	9,4			215	1,80	110	2,2	100	290	3,25
17	8,0			210	1,25	E	2,0	100	290	3,20
18	6,5			210			1,9	100	290	3,20
19	4,7			220			1,3	100	310	3,10
20	3,7			235			E	100	315	3,05
21	3,2			250			E	100	340	2,90
22	3,0			250			E	100	350	2,85
23	2,9			270			E	100	370	2,75

Продолжительность измерений от 1,0 до 18,0 мггц—20 сек. Станция автоматическая.

Таблица 13

Ионосферные данные

Томск
Медианные значения

Декабрь 1960 г.
Время 90°E

Время	$f^{\circ}F2$	$h'F2$	$f^{\circ}F1$	$h'F$	$f^{\circ}E$	$h'E$	$f^{\circ}Es$	$h'Es$	$h^p F2$	$F2-M 3000$
00	2,4			285			E	100	390	2,60
01	2,4			290			E	100	380	2,70
02	2,4			300			E	100	390	2,65
03	2,4			290			E	100	390	2,70
04	2,3			290			E	110	380	2,65
05	2,2			270			1,4	105	350	2,85
06	2,2			255			2,0	105	350	2,85
07	2,2			250			E	100	340	2,90
08	3,6			245	1,20	E	G	100	330	2,90
09	6,4			225	1,80	100	2,0	100	280	3,35
10	8,4			220	2,05	100	2,2	100	270	3,40
11	9,8			220	2,25	100	2,0	100	275	3,35
12	10,5			220	2,35	100	2,4	100	280	3,35
13	10,6			220	2,35	110	2,4	100	280	3,35
14	9,6			215	2,25	110	2,3	100	280	3,35
15	8,7			210	2,00	120	2,0	100	270	3,35
16	8,1			210	1,50	110	2,0	100	280	3,30
17	6,9			205	E	E	1,7	100	280	3,30
18	4,8			210			E	110	280	3,30
19	3,4			225			E	105	305	3,15
20	2,7			240			E	110	320	3,05
21	2,4			260			E	105	340	2,90
22	2,4			275			E	105	350	2,80
23	2,4			280			E	130	375	2,70

Продолжительность измерений от 1,0 до 18,0 мГц — 20 сек.
Станция автоматическая.

На рис. 8 показана кривая изменения количества случаев появления E_s в процентах по месяцам от общего числа часовых измерений.

Как видно из рисунка, в годовом ходе этой кривой наблюдается некоторая закономерность. Наиболее часто спорадический слой E появляется в летние месяцы и реже — зимой. Пределы изменения высоты нижней границы E_s за рассматриваемый период времени лежали от 100 до 140 км.

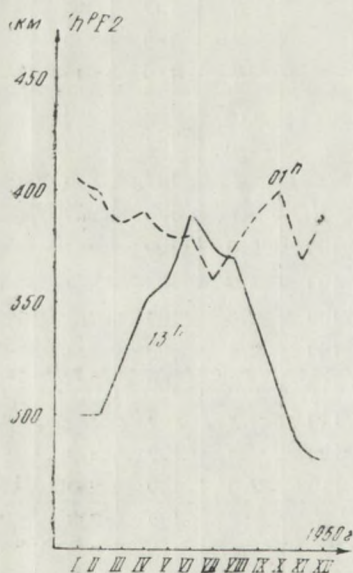


Рис. 7

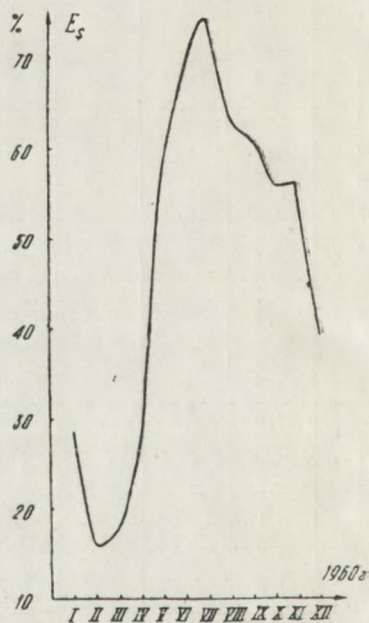


Рис. 8

ВЫВОДЫ

1. Состояние ионизации в 1960 году было таково, что этот год, так же как и 1959 год, стоит близко к максимуму солнечной активности, но уже на спаде данного цикла.

2. Изменение ионизации в слое $F2$ за первую половину дня в течение года определяется законом изменения зенитного угла Солнца.

3. Годовое изменение $V_{\text{ион.}}$ и годовое изменение количества полной солнечной энергии, поступающего в атмосферу, связаны между собой обратной зависимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Лихачев, Солнечная освещенная составляющая ионизации области $F2$. Астр. журнал, № 1, 1960.
2. Ю. Н. Елизарьев, О годовом ходе скорости нарастания ионизации области $F2$ в первую половину дня. Печатается в настоящем сборнике.

СПОКОЙНЫЕ СОЛНЕЧНОСУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ТОМСКЕ

О. К. Гордеев

В настоящей статье рассматриваются спокойные солнечносуточные вариации магнитного поля в Томске в период МГГ и МГС с июля 1958 по июнь 1960 года. Проводится гармонический анализ вариаций за указанный период.

Томская магнитная станция начала регулярную регистрацию вариаций магнитного поля Земли с июля 1958 года [1]. На основании данных, полученных на станции за два с половиной года, нами была сделана попытка выявить некоторые закономерности спокойного магнитного поля в Томске.

Был выбран интервал наблюдений с июля 1958 по июнь 1960 года. Двухгодовой период взят для выявления закономерностей в годовых суточных ходах геомагнитных элементов. Отдельно в каждом месяце вычислялся спокойный суточный ход по международным спокойным дням данного месяца. В указанный период в Томске не было ни одного дня с суточной характеристикой магнитной активности, равной 1, и только 12 дней с характеристикой, равной 0,5, что составляет 14,4% от всех дней, которые использовались для вывода суточных ходов по отдельным месяцам. Вышеприведенное дает основание предполагать, что осредненные суточные хода свободны от возмущений и их можно считать спокойными солнечносуточными вариациями геомагнитного поля в Томске. Осредненные суточные хода горизонтальной и вертикальной составляющих, а также магнитного склонения приведены в табл. 1. В таблице изменения горизонтальной и вертикальной составляющих даны в гаммах, склонения — в минутах. Для вывода суточного хода в равноденствие, летнее и зимнее солнцестояния год разбивался на следующие группы месяцев: январь, февраль, ноябрь, декабрь — зимнее солнцестояние (зима); март, апрель, сентябрь, октябрь — равноденствие; май, июнь, июль, август — летнее солнцестояние (лето).

Солнечносуточные вариации H

По форме суточные вариации горизонтальной составляющей в течение года остаются одинаковыми и представляют из себя кривую с резким отрицательным максимумом [3] в полуденные часы (рис. 1). Сезонные изменения наблюдаются только в амплитуде, которая сильно меняется с течением года. Самая большая амплитуда летом — 61 гамма, наименьшая зимой — 18 гамм. Амплитуда в годовом суточном ходе близка к амплитуде в равноденствие и приблизительно равняется 45 гам-

мам. Изменение амплитуды в течение года хорошо согласуется с изменением косинуса зенитного угла Солнца [2] для Томска.

Солнечносуточные вариации Z

Вид кривой суточной вариации вертикальной составляющей сильно изменяется с течением года (рис. 1). Летом суточная вариация Z имеет отрицательный максимум, который наблюдается сразу после полуденных часов, кроме того, имеются два положительных максимума: один в утренние, а другой в вечерние или первые ночные часы. Амплитуда суточного хода вертикальной составляющей летом составляет около 18 гамм. Зимой амплитуда вариаций не достигает и 10 гамм. По форме зимняя суточная вариация Z также резко отличается от летней. Минимум в дневные часы очень слабый, а утренний максимум приобретает очень расплывчатый характер, вечерний же максимум наблюдается сразу же после дневного минимума, а в отдельные зимние дни не наблюдается вовсе. В равноденствии суточный ход вертикальной составляющей по форме занимает промежуточное положение между летом и зимой, и его амплитуда немного меньше летней амплитуды суточного хода вертикальной составляющей.

Солнечносуточные вариации D

Вид кривых суточного изменения склонения, приведенного на рис. 1, показывает, что по форме изменения склонения с течением дня очень напоминают вид простой волны с максимальными значениями в предполуденные часы и минимальными значениями в послеполуденные часы. С изменением времени года форма суточного хода склонения не меняется, меняется только амплитуда от 18,0—20,0 минут летом до 2,0—4,0 минут зимой. Годовой суточный ход близок к суточному ходу склонения в равноденствие.

Гармонический анализ солнечносуточных вариаций

Гармоническому анализу были подвергнуты все кривые за период с июля 1958 по июнь 1960 года по всем трем элементам геомагнитного поля. Кроме того, гармонический анализ проводился по суточным ходам H , Z и D в период равноденствия, летнего и зимнего солнцестояний и по годовым суточным ходам H , Z и D .

Целью анализа было определить роль и удельный вес спектра гармонических колебаний, слагающих суточные хода элементов геомагнитного поля. Интересным было определить изменение фазы слагающих колебаний в течение года.

Для выявления слагающих компонент кривые разлагались в ряд Фурье:

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos x + b_1 \sin x + \dots + a_n \cos nx + b_n \sin nx + \dots$$

коэффициенты ряда находились по формулам Эйлера-Фурье:

$$a_n = \frac{2}{m} \int_{m=0}^{m-1} f(x) \cos(nx) dx,$$

Таблица 1

Горизонтальная составляющая

Год, месяц		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1958	Июль	16	17	14	16	20	21	11	0	-21	-38	-48	-51	-43	-31	-19	-7	7	20	21	20	19	18	18	16
	Август	18	18	16	16	16	17	12	-4	-10	-22	-34	-41	-42	-33	-26	-16	0	12	14	18	18	13	16	18
	Сентябрь	14	18	12	12	12	13	6	-1	-10	-22	-30	-33	-32	-23	-10	1	7	11	11	10	9	10	12	12
	Октябрь	13	12	10	12	13	12	8	7	-1	-14	-23	-30	-30	-23	-14	-6	-3	2	5	6	7	9	12	14
	Ноябрь	7	8	9	9	9	10	2	2	-1	-3	-11	-15	-15	-14	-11	-6	-4	-2	0	2	5	7	7	7
	Декабрь	5	5	5	4	4	1	-1	-1	-1	-3	-3	-3	-2	-4	-5	-5	-4	-2	-2	0	3	5	4	5
	Январь	8	6	7	7	6	8	4	5	1	-7	-14	-16	-17	-15	-8	-4	1	2	3	4	6	7	7	8
	Февраль	6	8	7	8	9	12	1	2	3	1	-6	-13	-16	-16	-11	-7	-2	-1	0	0	2	4	4	7
	Март	13	14	13	12	14	17	6	8	5	-5	-19	-27	-28	-22	-13	-6	-2	-1	0	1	4	6	8	11
	Апрель	14	12	11	11	14	14	7	3	-8	-23	-34	-40	-37	-25	-9	1	6	10	9	7	10	10	12	14
	Май	12	12	13	12	17	19	4	-9	-19	-31	-41	-45	-41	-25	-5	7	15	21	19	19	13	11	11	11
	Июнь	21	18	16	18	19	26	13	6	-9	-26	-36	-43	-42	-34	-23	-7	7	14	17	15	16	17	18	20
1959	Июль	12	11	14	14	17	20	7	-4	-17	-32	-38	-36	-38	-30	-21	-11	8	19	21	20	17	16	14	14
	Август	15	14	13	14	16	14	10	-2	-14	-27	-38	-43	-30	-15	-11	-1	9	16	15	14	14	16	14	15
	Сентябрь	16	14	14	15	13	13	6	-4	-20	-38	-45	-43	-29	-22	-2	0	4	12	11	13	13	15	19	17
	Октябрь	7	6	7	9	10	12	5	5	1	-6	-17	-27	-27	-24	-13	-5	0	6	7	7	7	7	10	9
	Ноябрь	8	8	6	7	5	6	1	-2	-5	-6	-11	-16	-19	-12	5	2	0	3	4	3	4	4	6	9
	Декабрь	4	1	1	-1	-1	-1	-4	-3	-5	-5	-5	-5	-5	-2	1	3	4	4	4	3	3	5	2	4
	Январь	3	2	2	2	2	2	2	3	6	7	2	-2	0	0	0	-1	-3	-4	-4	-3	-2	-1	-1	0
	Февраль	3	4	4	4	5	7	5	4	4	2	-5	-11	-11	-9	-5	3	3	3	2	0	2	4	6	6
	Март	12	9	8	9	10	12	5	5	1	-6	-17	-27	-27	-24	-13	-5	0	6	7	7	7	7	10	9
	Апрель	16	15	13	14	11	8	9	4	-6	-22	-34	-39	-40	-27	-21	-2	10	11	12	11	11	12	14	15
	Май	15	14	10	11	16	19	9	2	-9	-22	-32	-41	-36	-26	-14	-3	6	12	13	12	10	12	13	13
	Июнь	12	13	11	13	16	18	12	0	-13	-27	-35	-41	-38	-30	-19	-9	1	12	15	14	13	14	14	13
1960	Лето	14	15	13	13	17	19	10	-1	-14	-28	-38	-43	-40	-29	-17	-6	7	16	17	13	15	15	15	15
	Зима	6	5	5	5	5	7	1	1	0	-2	-6	-10	-10	-9	-5	-3	-1	0	0	1	3	4	5	6
	Равнод.	15	13	11	12	12	14	6	3	-5	-17	-27	-33	-30	-22	-11	-2	4	7	8	8	8	10	12	13
	Год	11	11	10	10	11	13	5	1	-7	-16	-24	-29	-26	-21	-11	-4	3	7	8	7	8	9	10	11

(Продолжение табл. 1)

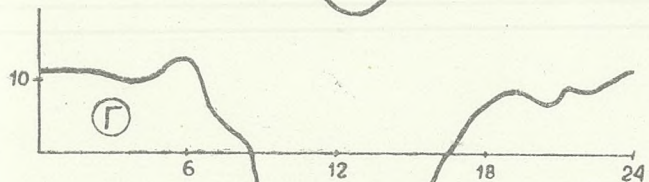
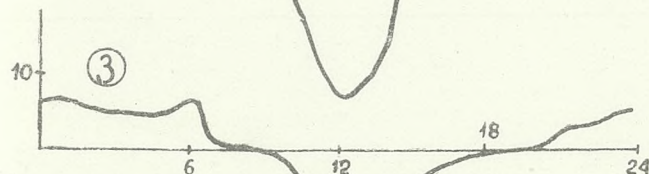
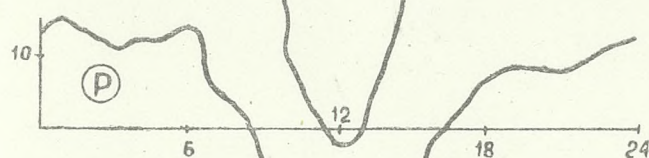
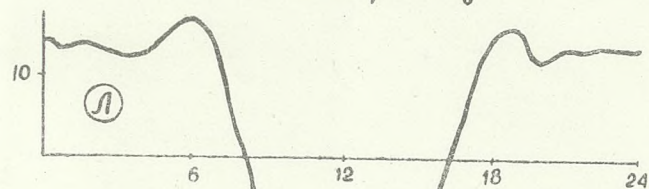
Магнитное склонение

Год, месяц		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1958	Июль	-1,4	-0,2	-0,3	0,8	2,6	4,5	6,6	8,3	8,5	6,9	4,2	0,9	-3,8	-6,8	-7,6	-8,1	-5,1	-3,2	-1,0	-0,3	-0,7	-1,1	-2,0	-2,1
	Август	-1,4	-1,0	0,3	0,7	1,9	4,0	4,9	7,6	10,1	9,0	6,0	1,2	-3,1	-6,6	-8,2	-8,1	-8,1	-3,2	-1,0	-0,2	-0,7	-1,5	-1,6	-1,9
	Сентябрь	0,1	0,4	0,5	0,8	1,3	1,8	4,6	6,7	6,7	6,5	5,0	1,2	-3,5	-6,2	-7,3	-6,9	-4,5	-3,6	-1,1	-0,7	-0,8	-0,7	-0,8	-0,3
	Октябрь	0,8	0,9	1,0	1,2	0,7	0,5	1,9	3,4	5,3	6,5	5,2	2,8	-0,7	-4,1	-5,1	-5,2	-4,2	-3,1	-2,5	-2,2	-2,7	-1,2	-0,6	0,1
	Ноябрь	0,7	0,7	0,5	0,1	0,0	0,0	0,5	1,1	1,8	3,1	2,6	1,2	-0,6	-2,2	-2,7	-2,3	-1,8	-1,5	-1,5	-1,3	-1,0	-0,1	0,4	0,6
	Декабрь	0,7	0,5	0,8	0,5	0,5	0,2	0,5	-0,1	0,0	0,0	0,7	0,8	0,2	-0,9	-1,2	-1,1	-0,9	-0,9	-0,6	-0,2	0,3	0,5	0,2	0,1
	Январь	0,8	0,7	0,9	0,9	0,2	0,7	0,6	0,7	1,7	2,3	2,2	1,8	-0,3	-2,3	-2,5	-1,7	-1,4	-1,5	-1,5	-1,0	-0,5	-0,2	0,3	0,5
	Февраль	-0,5	0,1	0,3	-0,2	-0,1	-0,2	-0,8	-0,5	1,4	2,9	2,8	1,3	0,0	-1,2	-2,0	-1,7	-0,9	-0,6	-0,7	0,0	0,2	0,6	0,4	0,8
	Март	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1,7	2,9	4,5	5,8	5,2	2,1	-2,0	-4,9	-5,6	-4,6	-3,1	-1,7	-1,3	-1,1	-1,0	-0,7	0,1	0,6
	Апрель	-0,2	-0,2	0,0	0,1	0,7	1,7	3,4	6,0	8,0	9,2	7,7	3,7	-2,0	-6,3	-8,4	-7,7	-5,4	-3,2	-1,6	-1,1	-0,8	-0,9	-0,8	-0,4
	Май	-0,3	-0,1	-0,4	0,4	2,5	4,3	6,8	8,6	9,4	8,2	4,9	1,2	-3,0	-6,5	-8,1	-8,1	-6,7	-4,2	-2,1	-1,2	-1,3	-1,5	-1,5	-0,9
	Июнь	-1,2	0,3	1,3	2,5	3,9	5,6	8,0	9,5	10,1	9,0	5,3	1,5	-2,9	-6,5	-8,8	-9,0	-9,6	-5,6	-3,6	-1,6	-1,6	-1,8	-2,1	-2,1
1959	Июль	-0,8	-1,1	1,2	1,0	2,4	3,6	6,8	9,0	10,0	8,0	5,5	-0,3	-4,1	-6,8	-8,1	-8,1	-6,8	-4,0	-0,3	-0,1	-1,0	-1,8	-2,1	-2,0
	Август	-1,0	-0,8	0,0	0,9	2,1	3,7	7,4	9,6	10,6	8,0	4,7	0,1	-4,5	-7,7	-8,5	-7,7	-5,9	-3,1	-1,5	-1,3	-1,7	-1,1	-1,3	-1,7
	Сентябрь	0,3	0,0	0,0	0,6	0,9	3,1	4,2	6,7	7,6	6,7	3,5	-0,3	-3,3	-6,4	-6,9	-5,7	-3,8	-2,0	-0,7	-2,0	-0,7	0,3	-0,3	-0,5
	Октябрь	0,3	0,4	0,6	0,6	0,5	0,1	0,8	1,9	3,4	4,8	4,4	2,4	-0,9	-3,5	-4,7	-4,4	-2,8	-2,2	-1,4	-1,9	-0,7	0,0	0,2	0,0
	Ноябрь	2,3	1,7	1,5	1,5	0,1	-0,5	-0,3	0,3	1,4	2,3	2,9	0,4	-1,7	-2,8	-3,1	-2,9	-2,0	-1,9	-1,1	-0,5	0,6	0,7	0,8	1,8
	Декабрь	1,3	1,2	0,9	1,7	1,1	0,9	-0,1	-0,3	-0,3	-0,7	-0,3	-0,3	-0,9	-1,6	-1,8	-1,1	-0,6	-0,7	-0,5	0,0	0,1	0,4	0,5	1,9
	Январь	0,6	0,9	0,9	0,7	0,2	-0,1	-0,2	-0,3	0,0	0,8	1,2	1,5	0,4	-0,7	-1,3	-1,2	-0,9	-0,9	-1,0	-0,6	0,0	0,6	0,5	0,3
	Февраль	1,1	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,6	0,8	1,7	3,1	2,5	1,1	-1,1	-2,4	-2,9	-2,7	-1,9	-1,1	-0,7	-0,8	-0,7	0,0	0,6	0,7
	Март	0,2	0,4	0,2	0,1	-0,6	-0,6	0,6	2,3	4,7	6,2	5,6	3,5	-0,6	-4,3	-6,0	-5,5	-3,7	-2,2	-1,1	-0,5	0,1	0,0	0,3	0,4
	Апрель	0,3	0,4	0,3	1,4	1,8	2,7	4,2	6,6	9,0	9,2	6,4	2,8	-2,5	-7,8	-8,3	-7,5	-5,6	-3,6	-2,3	-1,5	-1,4	-1,3	-0,9	-0,3
	Май	-0,2	-0,1	0,0	0,8	1,8	3,6	5,0	6,6	7,5	7,1	5,0	1,7	-2,9	-5,8	-7,8	-7,8	-6,6	-3,7	-1,8	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,3
	Июнь	-0,7	0,1	0,8	1,5	3,1	4,4	7,3	8,9	8,6	7,3	4,5	1,0	-3,9	-6,8	-8,6	-8,5	-7,0	-4,1	-2,0	-1,3	-1,3	-1,2	-1,4	-1,3
1960	Лето	-0,8	-0,3	0,4	1,1	2,6	3,3	6,6	8,5	9,4	8,0	5,0	0,9	-3,5	-6,7	-8,2	-8,2	-6,7	-3,9	-1,6	-0,8	-1,1	-1,3	-1,6	-1,5
	Зима	0,9	0,8	0,8	0,7	0,3	0,2	0,1	0,1	1,0	1,5	1,5	1,0	-0,5	-1,8	-2,2	-1,8	-1,3	-1,2	-1,0	-0,6	-0,1	0,3	0,4	0,8
	Равнод.	0,3	0,3	0,4	0,7	0,7	1,2	2,7	5,5	6,2	6,8	5,3	2,2	-2,1	-5,3	-6,6	-6,0	-4,2	-2,7	-1,5	-1,1	-0,9	-0,6	-0,4	-0,1
	Год	0,2	0,3	0,6	0,9	1,2	1,9	3,2	4,4	5,6	5,5	4,0	1,4	-1,0	-4,6	-5,6	-5,3	-4,0	-2,6	-1,3	-0,8	-0,7	-0,5	-0,5	-0,2

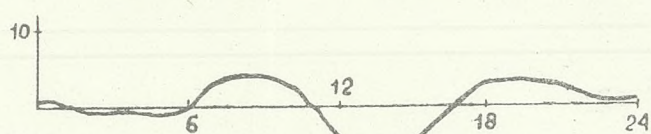
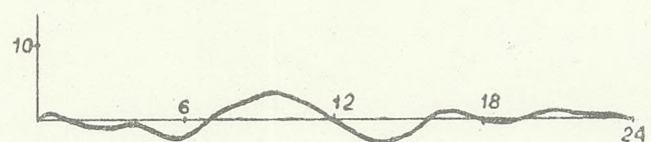
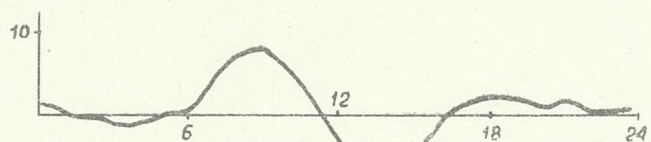
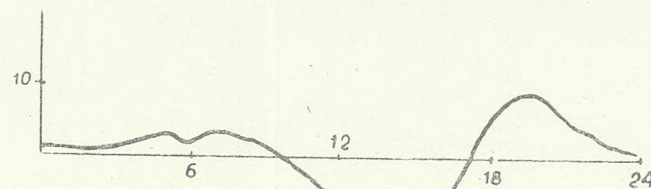
Вертикальная составляющая

Год, месяц		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1958	Июль	2	2	2	3	4	2	-1	-4	-3	-5	-7	-11	-12	-10	-9	-5	2	8	10	9	7	4	4	3	
	Август	2	2	2	2	2	5	6	6	1	-2	-8	-12	-13	-12	-8	-4	2	8	7	5	4	2	2	1	
	Сентябрь	0	-2	-2	-1	0	1	6	8	7	5	2	-8	-9	-9	-7	-3	2	4	3	2	1	0	0	0	
	Октябрь	0	0	-1	-1	-1	-2	3	8	9	8	-3	-3	-9	-5	-8	-6	0	2	2	2	2	2	2	1	
	Ноябрь	1	1	0	0	-1	-3	1	3	5	4	1	-1	-3	-5	-3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	
	Декабрь	1	1	0	-1	-2	-3	-1	0	1	-1	0	-1	-2	-3	-1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	
	Январь	-2	-2	-2	-2	-3	-2	1	3	6	6	5	4	0	-1	-1	1	0	-1	-1	0	0	0	-1	-1	
	Февраль	0	-1	-1	-2	-3	-2	1	1	2	2	1	-1	0	1	-1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	
	Март	0	-1	-2	-2	-2	-2	1	4	6	5	1	-4	-7	-7	-4	-1	1	2	2	1	1	1	1	1	
	Апрель	-1	-1	-3	-2	-1	0	7	9	11	8	3	-4	-11	-12	-11	-8	-3	2	1	1	3	0	0	0	
	Май	2	2	2	2	1	0	11	9	5	2	-2	-10	-18	-19	-13	-10	-6	0	13	15	11	7	3	2	
	1959	Июнь	1	2	2	5	5	1	3	-1	-3	-1	0	-3	-6	-9	-15	-14	0	6	6	5	5	5	2	1
Июль		0	1	0	0	1	-2	4	4	2	-6	-8	-6	-9	-6	-4	-3	4	8	9	7	6	3	1	1	
Август		0	0	0	0	4	4	5	5	3	0	-2	-3	-7	-10	-4	-4	1	7	6	3	0	0	0	0	
Сентябрь		-1	-1	-1	-2	-1	0	5	7	7	5	2	-4	-7	-9	-6	-1	2	2	0	0	1	0	-2	-2	
Октябрь		0	0	-1	-2	-2	-2	1	4	6	5	3	1	-2	-3	-3	-2	-1	0	1	0	1	1	2	-1	
Ноябрь		-3	-3	-3	-3	-3	-3	-1	1	3	3	0	-2	-1	-2	-2	1	2	1	0	1	2	2	1	-1	
Декабрь		-1	-1	-1	-2	-3	-4	0	0	1	2	1	0	-3	-4	-1	1	0	0	0	0	1	1	2	1	
Январь		2	0	0	0	0	-1	2	2	2	2	1	0	-6	-9	-7	-3	-1	0	0	2	3	2	3	3	
Февраль		0	0	-1	-1	-1	-2	0	0	2	4	2	-1	-3	-4	-4	-3	1	1	1	1	1	1	1	0	
Март		0	0	-1	-1	-1	-1	3	5	5	3	1	-2	-8	-11	-9	-5	0	3	5	5	4	3	3	1	
1960		Апрель	1	1	1	2	3	4	7	8	7	4	4	-9	-16	-18	-13	-5	0	3	4	4	3	2	2	1
		Май	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-2	-3	-3	-1	-1	1	0	1	0	0	0	0
	Июнь	0	0	0	0	1	1	4	3	4	0	-5	-8	-11	-10	-9	-6	-1	4	6	7	5	2	2	1	
	Лето	1	1	1	2	3	2	4	3	1	-1	-4	-6	-9	-10	-8	-6	0	5	7	7	5	3	2	1	
	Зима	0	-1	-1	-1	-2	-3	0	1	3	3	1	0	-2	-4	-3	0	1	0	0	1	1	1	1	0	
	Равнод.	0	0	0	1	0	0	5	7	8	6	2	-4	-8	-9	-7	-3	1	3	3	2	3	2	1	1	
	Год	0	0	0	0	0	0	3	4	4	3	0	-3	-6	-8	-6	-3	1	3	3	3	3	2	1	1	

$S_q H \vec{B}_r$



$S_q Z \vec{B}_r$



$S_q D \vec{B}_r$

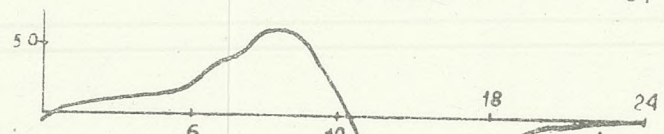
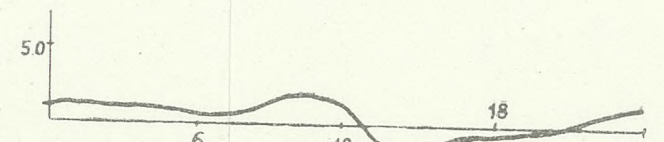
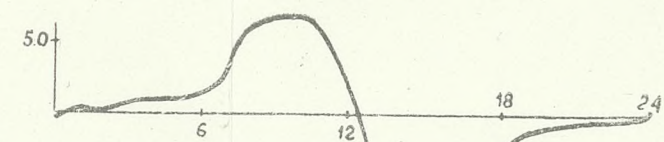
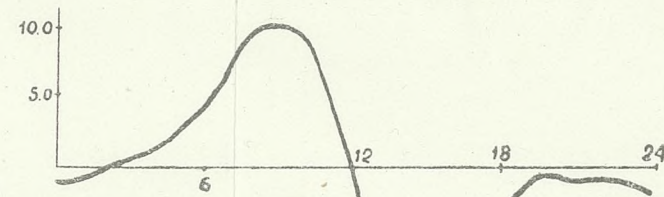


Рис. 1. Суточный ход горизонтальной (H), вертикальной (Z) составляющих геомагнитного поля и склонения (D) по спокойным дням. Л—лето; Р—равноденствие; З—зима; Г—год. Время местное 90°E.

$$b_n = \frac{2}{m} \int_{m=0}^{m-1} f(x) \sin (nx) dx.$$

Тогда амплитуда и фаза определяются из

$$A_n = \sqrt{(a_n)^2 + (b_n)^2},$$

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{a_n}{b_n}.$$

При анализе m равнялось 24, а n ограничивалось 2. Результаты численных амплитуд и фаз гармонического анализа в сезоны года приведены в табл. 2. Кроме того, построены гармонические диаграммы по каждому элементу для I и II гармоник.

Таблица 2

Горизонтальная составляющая

Время года	A_I , в γ	φ_I	A_{II} , в γ	φ_{II}
Лето	24,6	87°40'	14,73	281°33'
Равноденствие	18,3	82°03'	8,59	285°16'
Зима	6,62	68°30'	2,01	271°49'
Год	16,87	81°32'	8,33	274°52'

Вертикальная составляющая

Время года	A_I , в γ	φ_I	A_{II} , в γ	φ_{II}
Лето	4,42	78°15'	4,67	238°15'
Равноденствие	1,69	17°51'	4,79	204°58'
Зима	0,08	75°00'	1,74	190°15'
Год	2,02	65°30'	3,63	223°09'

Магнитное склонение

Время года	A_I , в мин	φ_I	A_{II} , в мин	φ_{II}
Лето	5,47	351°37'	4,12	199°02'
Равноденствие	3,52	351°15'	2,95	177°23'
Зима	1,06	14°49'	0,83	146°16'
Год	3,33	353°47'	2,55	185°51'

Горизонтальная составляющая

На гармонической диаграмме (рис. 2) приведены изменения амплитуды и фазы в течение года. На рис. 2а видно, что существенного различия в фазе первой гармоники не наблюдается. Своего максимального значения первая гармоника достигает до полдня по местно-

му времени. Небольшое изменение фазы от $68^{\circ}30'$ зимой до $87^{\circ}40'$ летом, вероятно, можно объяснить изменением периода освещенности слоя E ионосферы и смещением центра токовой системы на более ранние часы суток. На рис. 26 показано изменение амплитуды и фазы второй гармоники. Фаза второй гармоники с течением года меняется тоже очень незначительно. Можно считать, что она присутствует в спокойном суточном ходе горизонтальной составляющей и фаза ее лежит около $285^{\circ}00'$.

Магнитное склонение

На рис. 3а и 3б приведена гармоническая диаграмма изменения амплитуды и фазы первых двух гармоник в разложении суточного хода магнитного склонения. Как видно из рис. 3а, фаза первой гармоники остается постоянной и максимального положительного значения она достигает где-то около 81° или около шести часов по местному времени. Рассматривая рис. 3б, можно заключить, что фаза второй гармоники сильно колеблется в зависимости от времени года. Летом она равна $199^{\circ}02'$, а зимой $146^{\circ}16'$. Интересно отметить, что амплитуды первой и второй гармоник сравнимы по величине, что указывает на большой вклад второй гармоники в суточный ход склонения по спокойным дням.

Вертикальная составляющая

По результатам анализа суточного хода вертикальной составляющей геомагнитного поля Земли построены гармонические диаграммы (рис. 4а и 4б), на которых приведены изменения амплитуды и фазы первых двух гармоник разложения суточного хода в ряд Фурье. Диаграмма 4а показывает, что фаза первой гармоники в сезоны года является средней от фазы в отдельные месяцы соответствующего сезона. Очень интересен тот факт, что амплитуда второй гармоники в большинстве случаев (19 из 24) больше амплитуды первой. Из анализа средних суточных ходов по сезонам также видно (табл. 2), что амплитуда второй гармоники превалирует над первой. Особенно это хорошо видно в равноденствии $A_2/A_1 = 2,89$.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Ф. Ковалевский, Томская магнитная станция, „Труды СФТИ“, вып. 37, 1959.
2. О. К. Гордеев, А. Ф. Ковалевский, А. И. Лихачев, О связи солнечносуточных вариаций по спокойным дням с зенитным углом Солнца, „Труды СФТИ“, вып. 38, 1960.
3. Справочник по переменному магнитному полю СССР, под ред. В. И. Афанасьевой, Л., 1954.

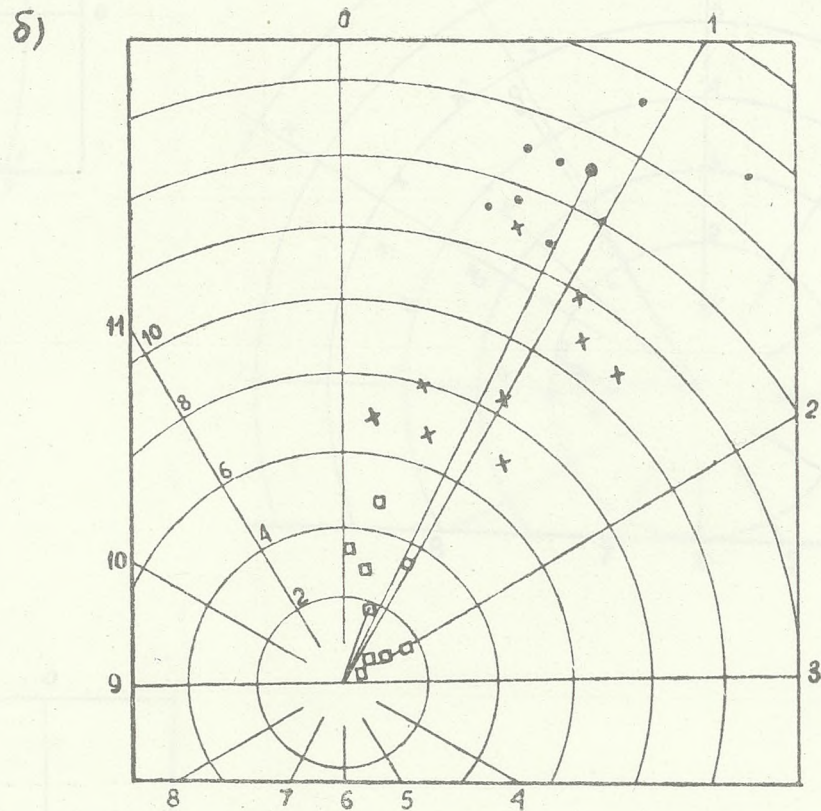
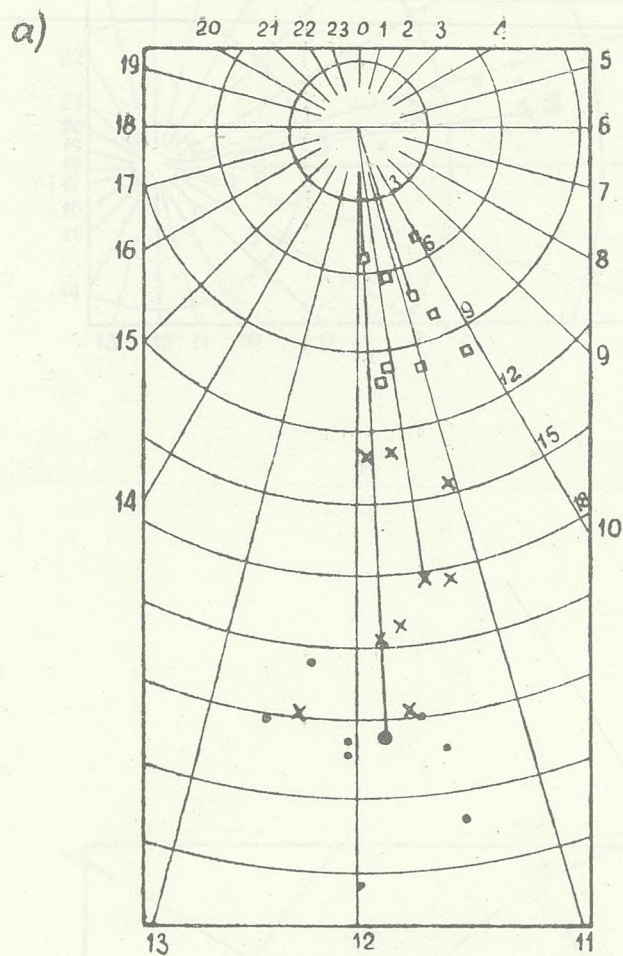
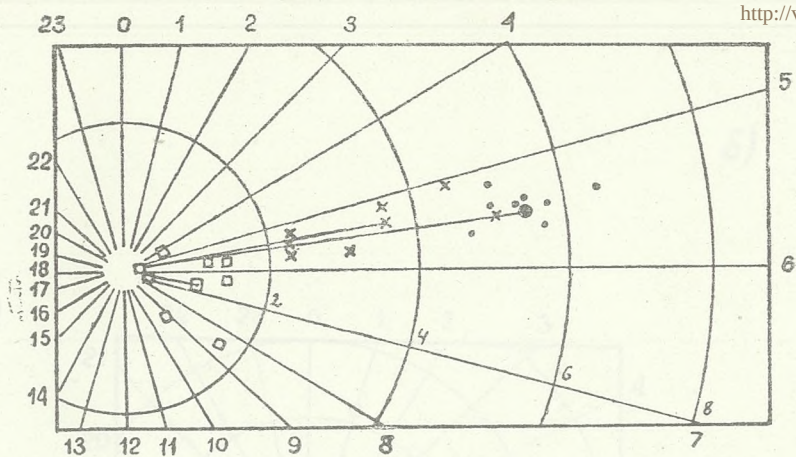


Рис. 2. Гармоническая диаграмма горизонтальной составляющей а) — первая гармоника; б) — вторая гармоника.
 . — летние месяцы, ● — среднее за летний период, × — равноденствие, × — среднее за период равноденствия,
 □ — зимние месяцы, □ — среднее за зимний период. Радиальные линии в гаммах.

a)



б)

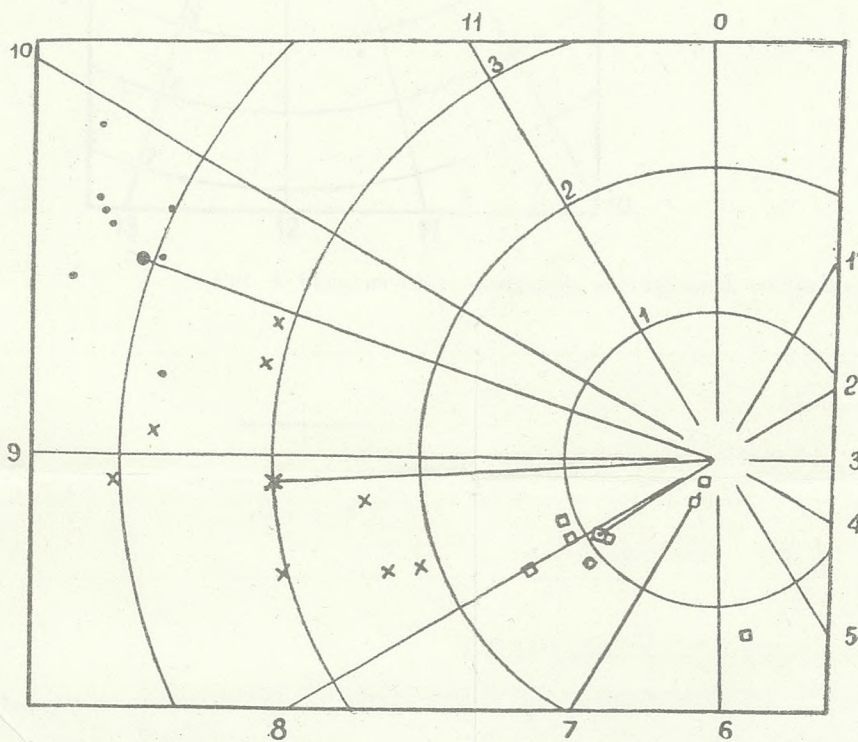
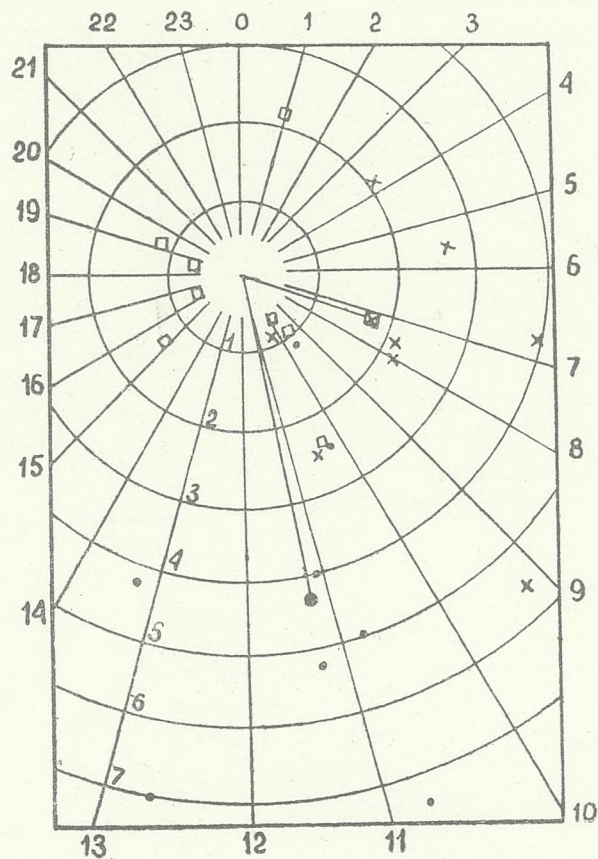


Рис. 3. Гармоническая диаграмма магнитного склонения. Радиальные линии в минутах. Остальные обозначения см. на рис. 2.

а)



б)

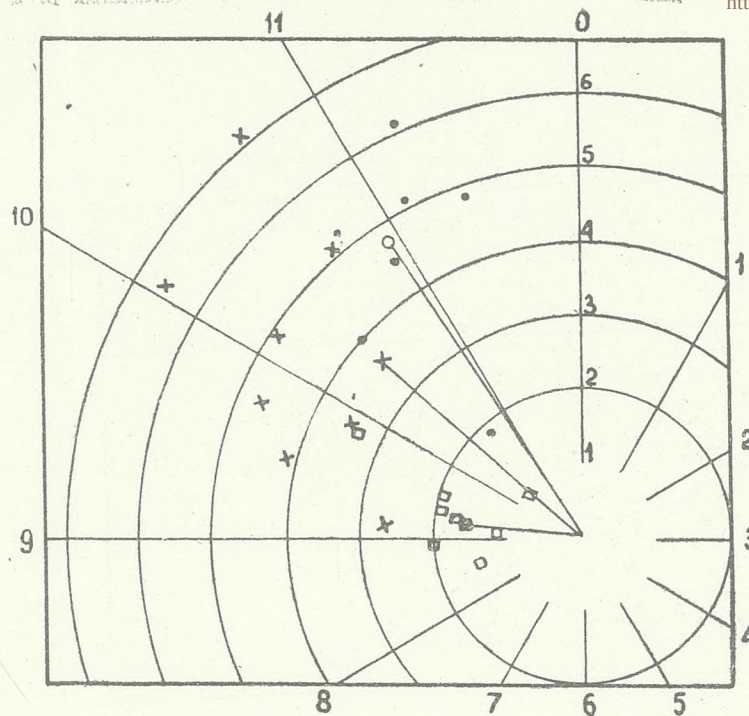
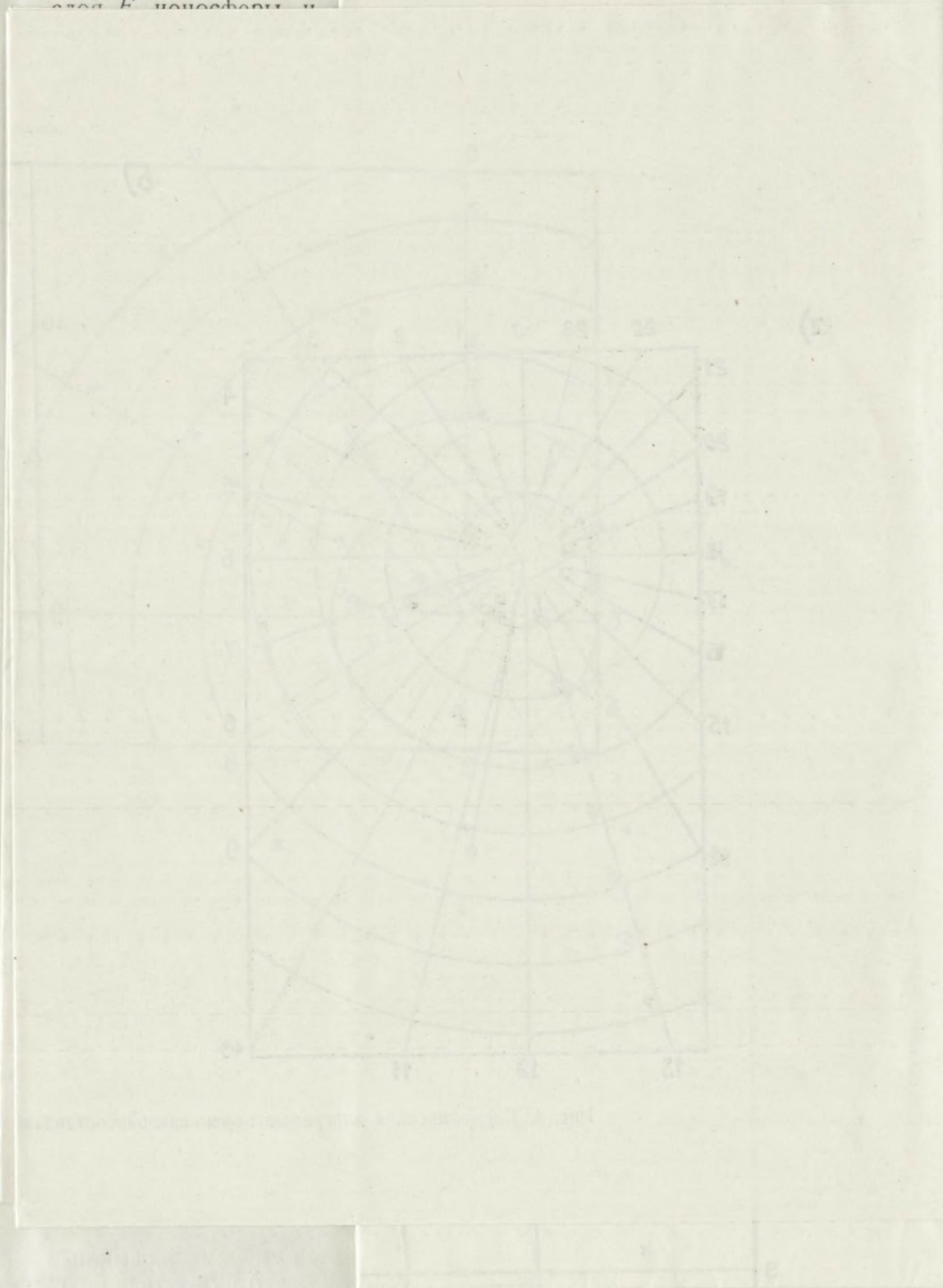


Рис. 4. Гармоническая диаграмма вертикальной составляющей. Обозначения см. на рис. 2.

му времени. Небольшое изменение фазы от $68^{\circ}30'$ зимой до $87^{\circ}40'$ летом, вероятно, можно



ИЗМЕРЕНИЯ ДРЕЙФОВ В СЛОЕ F_2 1960 г. В ТОМСКЕ

В. А. Чеча, В. Е. Зеленков

Приводятся результаты наблюдений за дрейфом мелкомасштабных неоднородностей плотности ионизации методом разнесенного приема с малой базой. Наблюдения проводились каждый час по 5 минут при явно выраженном магнитно-ионном расщеплении в дни, рекомендованные международным геофизическим календарем. Всего за год проведено 2592 наблюдения, из них годных для обработки методом подобных замираний было 1151, что составляет 43 %. Это объясняется тем, что большое число записей не могло быть исследовано для обработки вследствие наличия очень медленных или хаотических знакопеременных амплитуд принимаемых сигналов. Кроме того, большое количество данных выпало в возмущенные дни, когда ионосфера характеризовалась диффузностью, а также в периоды сильного поглощения и посторонних помех. Большой выход данных по сравнению с 1959 годом [1] объясняется тем, что в каждый час проводилось по три последовательных сеанса измерений.

На рис. 1 приведены усредненные результаты, относящиеся к различным сезонам года, период наблюдений по сезонам разбивается следующим образом: зима — декабрь, январь, февраль; весна — март, апрель, май; лето — июнь, июль, август; осень — сентябрь, октябрь, ноябрь. На рисунке изображено поведение северо-южной и восточно-западной компонент скорости дрейфа за 24 часа по мировому времени. Под каждым графиком указано количество данных, взятых для усреднения.

На рис. 2 приведено распределение направлений скоростей движений, относящихся к различным сезонам года. Преимущественные направления за все сезоны весьма четки и составляют $45-60^\circ$ в отличие от данных за 1958—1959 годы, когда наблюдалось и ясно выраженное противоположное направление на юго-запад.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Чеча, В. Е. Зеленков, Труды СФТИ, 1960, 38, 23.

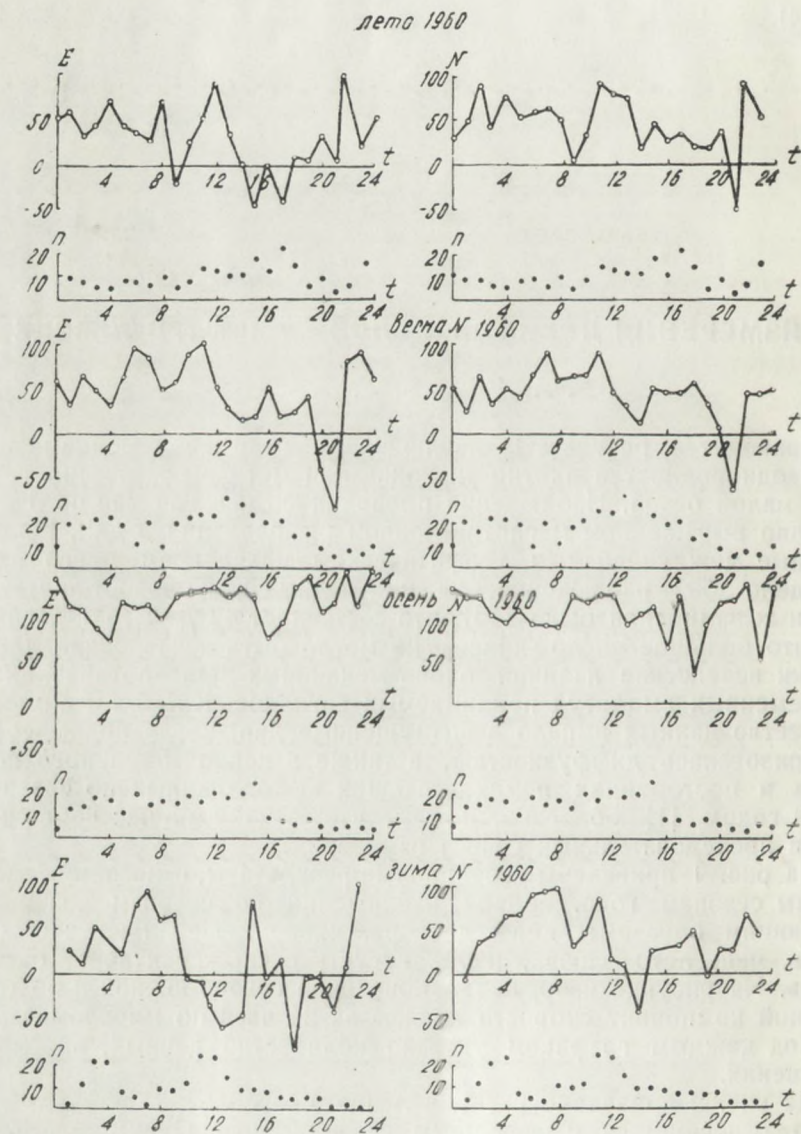


Рис. 1

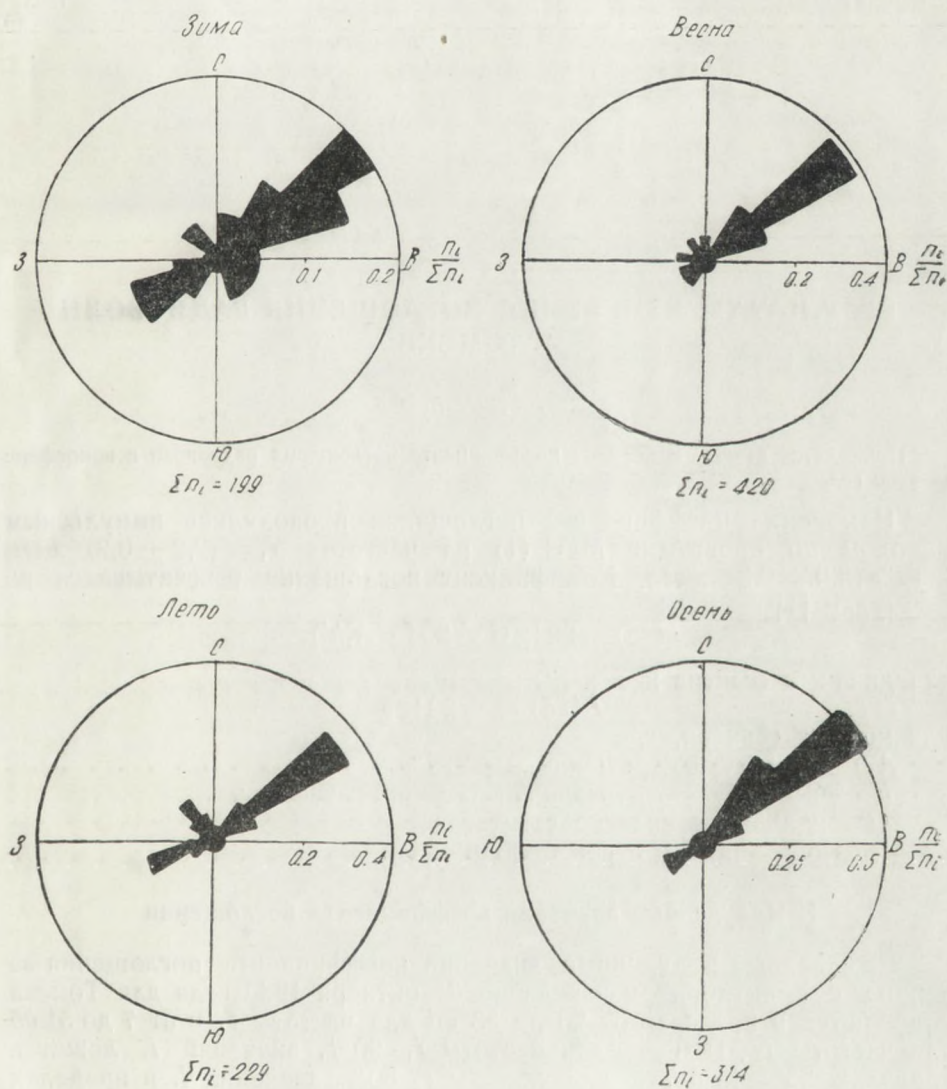


Рис. 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОВОЛН В ТОМСКЕ

Б. А. Грохотова

Приводятся данные измерения коэффициента поглощения радиоволн в ионосфере за 1960 год.

Измерения коэффициента поглощения проводились импульсным методом по программе МГС (1) на частотах $f_1 = (2,2 \pm 0,2)$ мГц и $f_2 = (3,0 \pm 0,3)$ мГц. Коэффициент поглощения рассчитывался по формулам [1]

$$L(\delta\phi) = 20 \lg G - 20 \lg (A_1 h')$$

для дневных сеансов и

$$L(\delta\phi) = -20 \lg \rho$$

для ночных сеансов, где

A_1 — амплитуда отраженного сигнала,

h' — высота слоя, отражающего данную частоту,

G — калибрационная константа,

ρ — коэффициент отражения от слоя.

1. Полуденные значения коэффициента поглощения

Ежедневные полуденные значения коэффициента поглощения за период с 1 октября 1959 года по 31 октября 1960 года для Томска колеблются в пределах от 20 до 53 дБ для частоты f_1 и от 7 до 51 дБ для частоты f_2^* . Причем, для частоты f_1 90% значений L лежит в пределах 25 ÷ 45 дБ, а для частоты f_2 80% значений L в пределах 15 ÷ 40 дБ.

Увеличенное поглощение (индекс B) наблюдалось в 18% проведенных полуденных сеансов.

Число дней с полуденными сеансами, обозначенными индексом B , по месяцам дается в табл. 1. Как видно из таблицы, наибольшее число дней с повышенным поглощением было в ноябре, январе, июне и августе, а наименьшее в октябре.

При сопоставлении ежедневных полуденных значений коэффициента поглощения с ежедневными значениями относительного числа солнечных пятен R [2] оказалось, что повышенное поглощение 5 и 6 октября 1959 года, с 11 по 15 ноября 1959 года, 1 и 2 декабря 1959 года и 6, 7, 28, 30 января и 1 февраля 1960 года совпадает с повышенными значениями R по сравнению с предыдущими и последующими

* Значения L при отражении от слоя E_s и случаи аномального поглощения не учитывались.

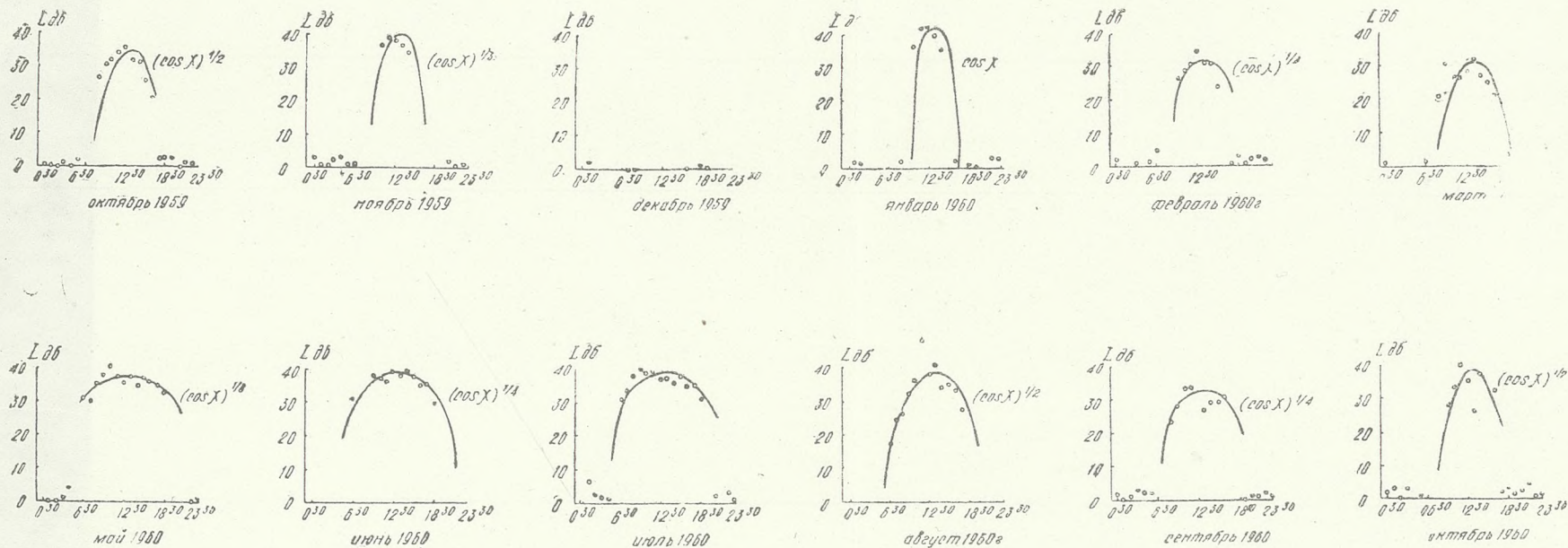


Рис. 1.

ТРУДЫ СИБИРСКОГО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

при Томском государственном университете имени В. В. Куйбышева

Вып. 41

1962

ента поглощения с ежедневными значениями относительного числа солнечных пятен R [2] оказалось, что повышенное поглощение 5 и 6 октября 1959 года, с 11 по 15 ноября 1959 года, 1 и 2 декабря 1959 года и 6, 7, 28, 30 января и 1 февраля 1960 года совпадает с повышенными значениями R по сравнению с предыдущими и последующими

* Значения L при отражении от слоя E_s и случаи аномального поглощения не учитывались.

днями. Причем, значениям $R > 275$ (13 ноября и 2 декабря 1959 года и 28 января 1960 года) обязательно соответствует повышенное поглощение.

Таблица 1

Месяцы	Число дней	
	f_1	f_2
Октябрь 1959 г.	3	—
Ноябрь	11	—
Декабрь	6	—
Январь 1960 г.	10	—
Февраль	8	3
Март	3	0
Апрель	—	—
Май	7	2
Июнь	11	6
Июль	3	4
Август	13	11
Сентябрь	7	7
Октябрь	2	0

В ряде случаев, например, 23 и 30 ноября, 6 и 18 декабря 1959 года и 9 и 23 января, 2 и 3 февраля и 6 марта 1960 года, аномально увеличенное полуденное поглощение совпадает по времени с интенсивными хромосферными вспышками.

II. Суточный ход коэффициента поглощения

Суточный ход коэффициента поглощения обсуждается по данным ежечасных измерений в РМД и дополнительным измерениям в июне и июле 1960 года.

Из всех рассмотренных дней дни 15 декабря 1959 года, 15 июня, 10 июля и 11 августа 1960 года имели повышенное поглощение в течение 4—6 часов. При сопоставлении с солнечными данными [3] оказалось, что вспышке поглощения 15 декабря предшествовали четыре хромосферные вспышки с усиливающейся интенсивностью. Предшествовала интенсивная хромосферная вспышка и кратковременной вспышке поглощения 14 декабря 1959 года в $10^h30'$.

По данным Томской магнитной станции, дни с повышенным поглощением 9, 10, 11 августа 1960 года, а также 1 октября, 14 и 15 декабря 1959 года и 18, 19, 20 октября 1960 года были днями с повышенной магнитной активностью.

Для построения суточного хода коэффициента поглощения мы произвели усреднение коэффициентов поглощения для каждого сеанса измерений для частоты f_1 для каждого месяца. Суточный ход усредненных значений L приведен на рис. 1. При усреднении не учитывались вспышки поглощения.

Как известно [4], зависимость изменения коэффициента поглощения от зенитного угла Солнца должна выражаться как

$$L \sim (\cos x)^n,$$

где x — зенитный угол Солнца.

Мы попытались подобрать n по усредненным значениям для каждого месяца (рис. 1).

III. Ежемесячный ход коэффициента поглощения

На рис. 2 приведен ход значений коэффициента поглощения L с января 1958 года по февраль 1961 года для частоты $f = (2,2 \pm 0,2)$ мГц, построенный по медианным значениям за каждый месяц по полуденным сеансам.

Как видно из рисунка, с января по март идет падение коэффициента поглощения для каждого рассмотренного года, в мае значе-

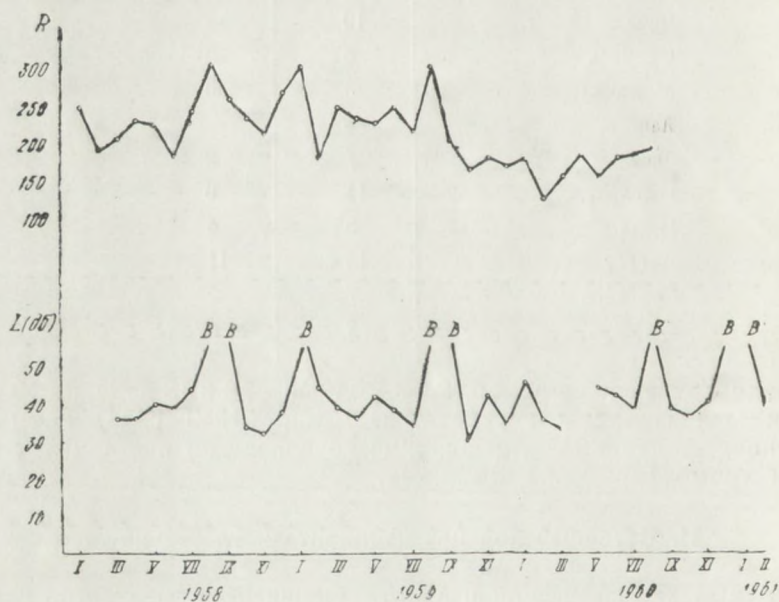


Рис. 2

ние L повышается, с мая по июль наблюдается падение коэффициента поглощения как в 1959 году, так и в 1960 году, для августа каждый год имеет медиану B (аномальное поглощение), в сентябре имеем медиану B в 1958 и 1960 годах. Повышенное поглощение в августе каждого года (индекс B) совпадает с повышенным значением относительного числа солнечных пятен по сравнению с другими месяцами данного года (см. рис. 2, где приведены значения R по средним за месяц). Так же можно заметить, что с июня 1959 года по февраль 1960 года и с июня 1958 года по февраль 1959 года падению R соответствует падение поглощения, а увеличению R — увеличение поглощения.

Выводы

1. Показано, что для Томска степень $\cos \alpha$ меняется в течение года в пределах от $\frac{1}{8}$ до 1.
2. Отмечается совпадение хода коэффициента поглощения с ходом относительного числа солнечных пятен с июня по февраль (в сезонном ходе).

3. Отмечается повторяемость ежемесячного хода коэффициента поглощения.

ЛИТЕРАТУРА

1. У. Ж. Бейнон и Г. М. Браун, Инструктивное руководство, т. II, 1957.
2. Космические данные, 1959, 1960.
3. Солнечные данные, 1959, 1960.
4. Piggott W. R., Proc. JEE, **100**, Part III, 61—72, 1953.

ИОНОСФЕРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ТОМСКЕ ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 15 ФЕВРАЛЯ 1961 ГОДА

Ю. Н. Елизарьев, Н. И. Серебренникова

В статье приведены результаты ионосферных наблюдений в Томске во время солнечного затмения 15 февраля 1961 года.

Во время оптического затмения наблюдалось понижение электронной концентрации в слоях E и F_2 , что подтверждает влияние ультрафиолетовой радиации на ионизацию этих областей.

15 февраля 1961 года с 15 час. 09 мин. до 17 час. 22 мин. по местному декретному времени в Томске наблюдалось частное солнечное затмение с наибольшей фазой 0,82 в 16 час. 17 мин.

На ионосферной станции СФТИ за 5 дней до и 5 дней после затмения фоторегистрация высотно-частотных характеристик проводилась через каждые 15 минут. Во время затмения запись ионограмм велась непрерывно.

Кроме того, одновременно с ионосферными наблюдениями были проведены наблюдения и за состоянием магнитного поля Земли на Томской магнитной станции.

На рис. 1 показано состояние земного магнитного поля по всем трем элементам, по данным Томской магнитной станции. Как видно из этого рисунка, состояние магнитного поля Земли во время затмения было совершенно спокойным. Только в 19 час. местного декретного времени по D (склонение) наблюдалась положительная бухта, а по H (горизонтальная составляющая)—отрицательная бухта, которые вряд ли имеют какое-либо отношение к солнечному затмению.

На рис. 2 показаны результаты измерений критических частот и минимальных высот ионосферы в Томске в течение суток 15 февраля 1961 года. По оси абсцисс нанесены часы местного декретного времени ($GMT+7^h$).

По оси ординат нанесены критические частоты по обыкновенному лучу (нижняя часть рисунка) и минимальные высоты ионосферы (вер-

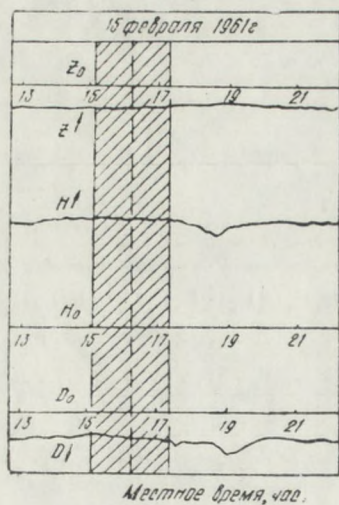


Рис. 1

хняя часть рисунка). Сплошной линией показан ход критических частот и минимальных высот слоев E , $F1$ и $F2$, а также минимальных частот отражения от ионосферы (f_{min}). Треугольниками отмечены значения предельных частот и высот отражения спорадического слоя E 15 февраля 1961 года, пунктирной линией нанесен ход медианных значений критических частот, минимальных высот и минимальных частот отражения от ионосферы за период времени с 10 по 20 февраля 1961 года.

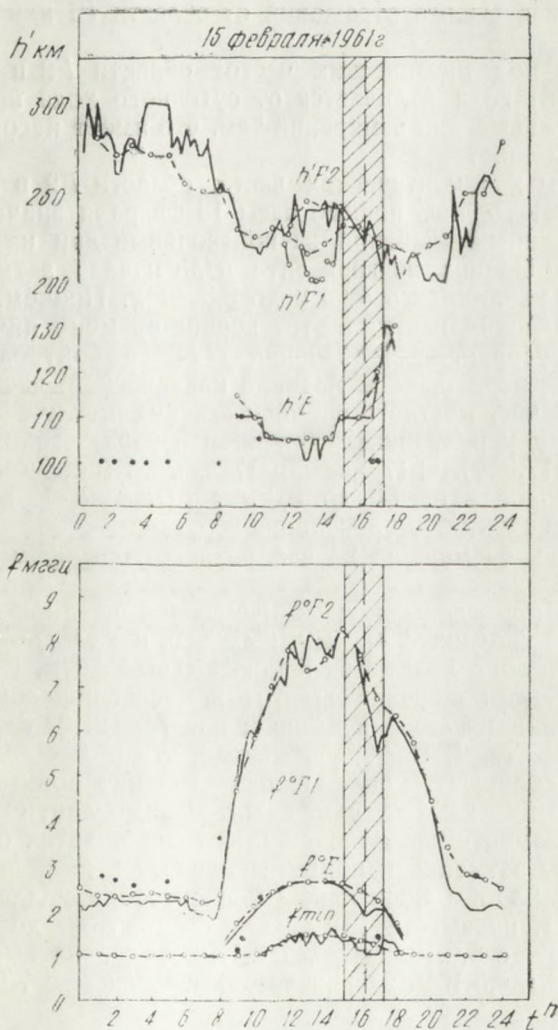


Рис. 2

Вертикальными прямыми отмечено время (на горизонте) начала затмения (15 час. 09 мин.), наибольшей фазы (16 час. 17 мин.) и конца затмения (17 час. 22 мин.).

Критические частоты и высоты ионосферы

Расслоение области F на $F1$ и $F2$ в период времени с 10 по 14 февраля наблюдалось с 12 час. 15 мин. до 15 час. 30 мин. по местному

декретному времени. С 16 по 20 февраля расслоение происходило с 10 час. 00 мин. до 16 час. 30 мин. В день затмения 15 февраля 1961 года образование области $F1$ наблюдалось с 12 час. 00 мин. до 14 час. 30 мин. по местному времени. Более раннее время прекращения процесса расслоения области F на $F1$ и $F2$ 15 февраля 1961 года могло быть вызвано эффектом солнечного затмения.

Критические частоты области $F1$ 15 февраля имели такие же значения, как и в соседние числа 14 и 16 февраля, и изменялись в пределах от 3,5 до 4,0 мГц.

Минимальная высота отражений от области $F1$ изменялась от 200 до 225 км.

Суточный ход критических частот области $F2$ в день затмения 15 февраля 1961 года отличается от суточного хода критических частот за контрольные дни измерений тем, что имеет несомненную связь с затмением Солнца.

Рассмотрим ход критических частот области $F2$ в течение суток 15 февраля 1961 года. В ночные часы 15 февраля значения $f^o F2$ были ниже медианных значений за контрольные дни на 0,1—0,7 мГц. После восхода Солнца на горизонте и до начала затмения критические частоты увеличились от 1,8 до 8,3 мГц. Причем, характер изменения критических частот в этот период времени ничем не отличается от хода усредненных значений $f^o F2$ за контрольные дни. Во время затмения наблюдалось падение критической частоты от 8,3 до 5,5 мГц. В 17 час. местного времени разница критических частот области $F2$ между усредненным значением и наблюдавшимся составила 1,2 мГц (или 17,9%). С 17 час. до 17 час. 45 мин. критическая частота вновь возросла от 5,5 до 6,3 мГц (или на 12,7%), достигнув нормального значения. Дальнейший ход критической частоты области $F2$ с 17 час. 45 мин. до 24 час. является обычным для вечернего времени суток.

На рис. 3 приведены кривые изменения плотности ионизации в области $F2$ на уровнях 230, 240, 260, 270 и 280 км за 15 февраля 1961 года и средние кривые за 5 контрольных дней. В нижней части рис. 3 приведено изменение высоты при фиксированных значениях электронной концентрации, а именно: при $N = 2.10^5 \text{ см}^{-3}$, 3.10^5 см^{-3} , $4.4.10^5 \text{ см}^{-3}$, 6.10^5 см^{-3} . Из рисунка видно, что вблизи наибольшей фазы затмения наблюдается более сильное падение ионизации на вышеуказанных уровнях высоты, чем в контрольные дни. Образовавшийся минимум ионизации с увеличением высоты смещается от времени наибольшей фазы затмения к концу затмения.

На высоте 230 км электронная концентрация упала с $3,7.10^5 \text{ см}^{-3}$ до $2,1.10^5 \text{ см}^{-3}$, на высоте 240 км — с $5,3.10^5 \text{ см}^{-3}$ до 3.10^5 см^{-3} , на высоте 260 км — с $6,6.10^5 \text{ см}^{-3}$ до $4,1.10^5 \text{ см}^{-3}$, на высоте 270 км — с $7,2.10^5 \text{ см}^{-3}$ до $4,3.10^5 \text{ см}^{-3}$, на высоте 280 км — с $7,5.10^5$ до $5,1.10^5 \text{ см}^{-3}$.

Истинные высоты отражения вблизи максимума покрытия солнечного диска возрастают.

В изменении высоты нижней границы отражения от области $F2$ во время затмения четкого эффекта не проявилось.

На рис. 4 изображен ход полной электронной концентрации, усредненный за 5 контрольных дней и за день затмения 15 февраля 1961 года.

Из рисунка видно, что полная электронная концентрация падает более интенсивно в день затмения и достигает минимальной величины вблизи конца затмения.

Количественная интерпретация результатов ионосферных наблюдений, полученных 15 февраля 1961 года, представляет некоторые затруднения вследствие совпадения по времени затмения Солнца с явлением образования вечернего максимума ионизации области F_2 .

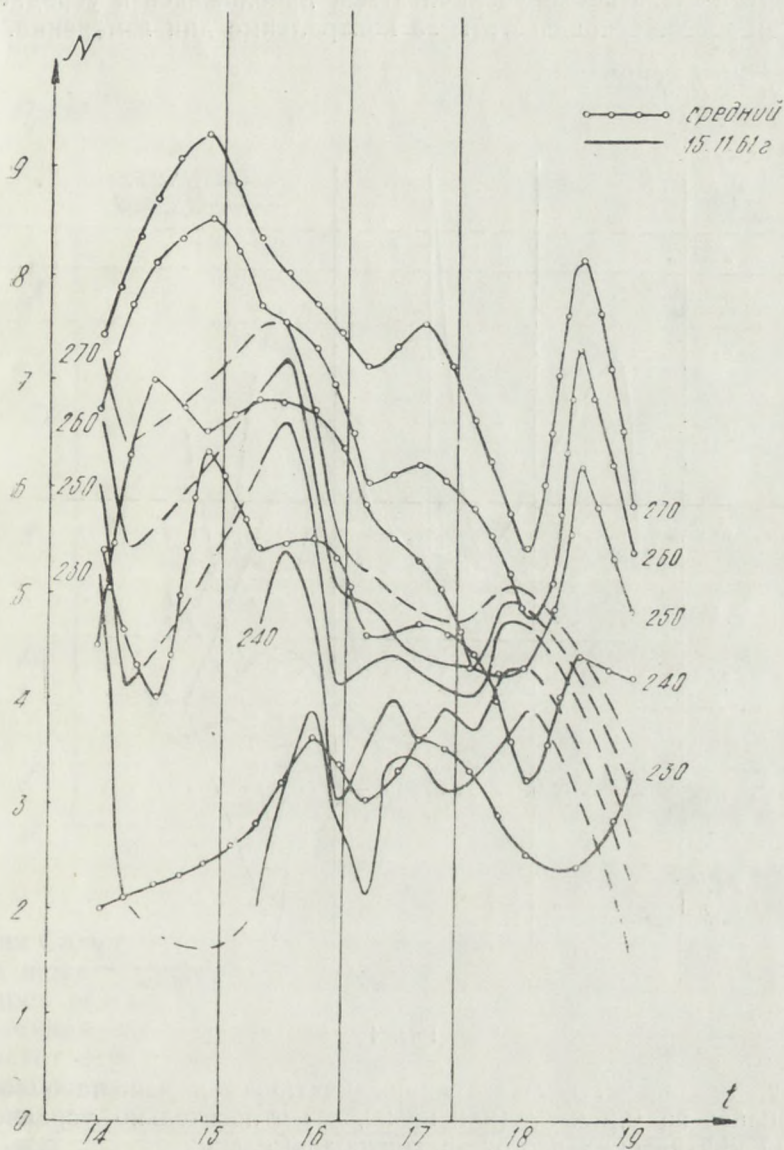


Рис. 3

Однако из рассмотрения хода характеристик ионосферы на рис. 2 и 4 можно прийти к тому выводу, что уменьшение критической частоты (полной электронной концентрации) области F_2 во времени, соответствующем оптическому затмению, свидетельствует о несомненном влиянии фотонной радиации Солнца на ионизацию области F_2 .

Измерения критической частоты области E во время солнечного затмения также показали ее уменьшение, что можно объяснить влиянием ультрафиолетового излучения Солнца и на ионизацию области E .

Однако в отличие от области F_2 , для которой падение критической частоты наблюдалось как в первую, так и во вторую фазы затмения, уменьшение критической частоты области E длилось только во время первой фазы затмения. С наступлением второй фазы критическая частота стала вновь увеличиваться, приближаясь к усредненным значениям критической частоты за контрольные дни измерений.

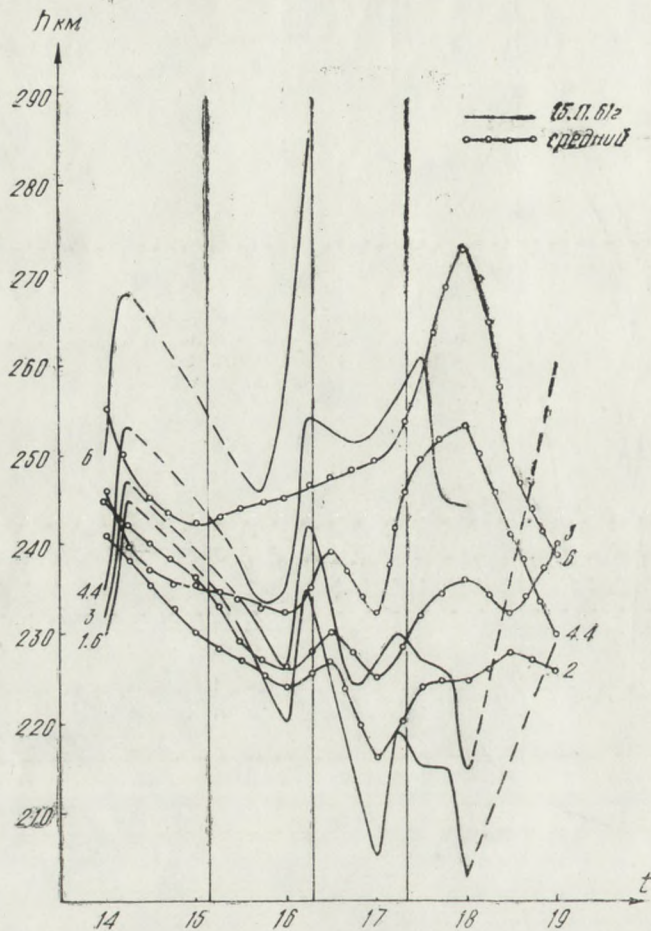


Рис. 4

За время первой фазы затмения критическая частота области E уменьшилась на 0,5 мГц (или на 20,8%) относительно усредненных значений критических частот за контрольные дни.

В остальное время дня величина f^oE очень близко совпадала с усредненными значениями (рис. 2).

Минимальные высоты отражения от области E в день затмения 15 февраля 1961 года оставались на уровне 100—130 км, что является нормальным для этой области ионосферы, по данным измерений за контрольные дни.

Отражения от спорадического слоя E 15 февраля 1961 года наблюдались с перерывами с 01 ч. 15 мин. до 10 час. 15 мин. на высотах от 100 до 110 км. Предельная частота спорадического слоя E изменялась в пределах от 1,2 до 4,0 мГц. Затем только лишь во вто-

рую фазу затмения вновь появились отражения от слоя E_s с предельной частотой 1,3—1,4 мггц. В 22 час. 30 мин. было зарегистрировано еще одно отражение от спорадического слоя E с предельной частотой 2,8 мггц.

Изменение минимальной частоты отражения ($f_{\min}$) от ионосферы за 15 февраля 1961 года также характеризуется некоторой особенностью, которая состоит в том, что значения $f_{\min}$ во время оптического

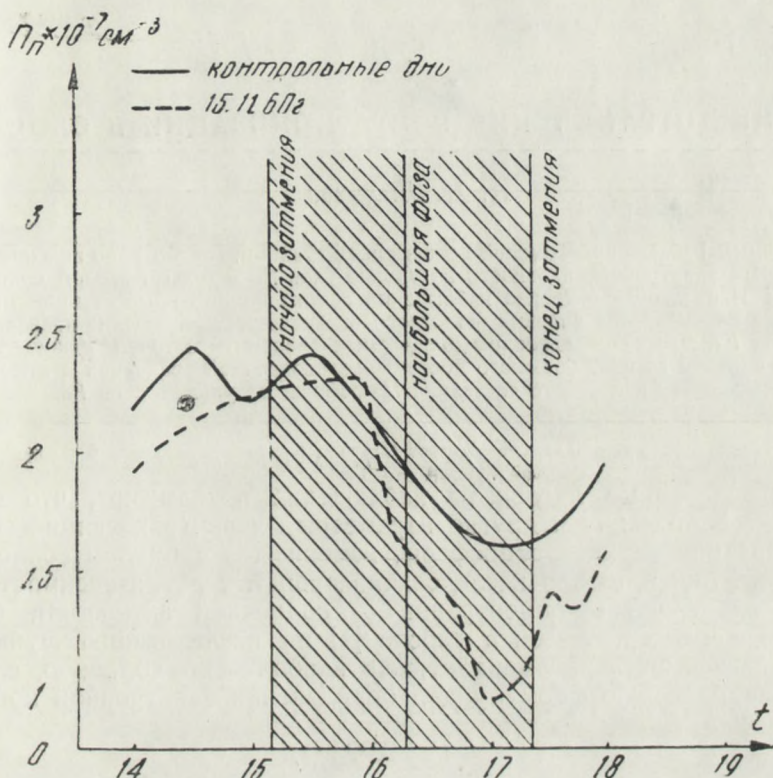


Рис. 5

затмения Солнца (до 17 час.) постепенно уменьшались от 1,3 до 1,0 мггц и были ниже усредненных значений за контрольные дни. Затем наблюдалось резкое увеличение $f_{\min}$ от 1,0 до 1,4 мггц с последующим уменьшением, приближаясь к нормальному суточному ходу минимальных частот отражения от ионосферы.

Уменьшение $f_{\min}$ во время оптического затмения было, по-видимому, вызвано ослаблением поглощающих свойств области D .

Выводы

1. В период частного солнечного затмения в Томске 15 февраля 1961 года отмечено понижение критических частот (электронной концентрации) для областей E и $F2$, что свидетельствует о влиянии фотонного излучения Солнца на ионизацию этих областей.

2. Истинные высоты отражения вблизи максимума покрытия солнечного диска возрастали.

3. Во время солнечного затмения наблюдалось уменьшение минимальных частот отражения от ионосферы ($f_{\min}$), что указывает на ослабление поглощающих свойств области D .

ЯВЛЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ РОСТА ИОНИЗАЦИИ В СЛОЕ F_2

А. И. Лихачев

По данным наблюдений Томской ионосферной станции, рассмотрено явление ограничения роста электронной плотности на уровне слоя F_2 в годы высокой солнечной активности. Использован материал наблюдений сорока ионосферных станций мира за 1958 год для рассмотрения явления широтного ограничения приращения ионизации на уровне слоя F_2 . Дается объяснение наблюдаемым явлениям с точки зрения температурной гипотезы за счет большого поступления солнечной радиации в атмосферу Земли и изменения физического состояния атмосферы на уровне слоя F_2 .

ВВЕДЕНИЕ

Многочисленные материалы наблюдений показывают, что электронная концентрация и другие параметры, характеризующие состояние ионизации верхней атмосферы, изменяются с циклом солнечной активности. Как показали исследования прошлых лет, зависимость изменения электронной концентрации от солнечной активности носит линейный характер. Аллен в работе [1] по исследованию функциональной зависимости рекомендует, как наиболее подходящую, следующую эмпирическую формулу для определения электронной концентрации в слое F_2 .

$$N = N_0 (1 + 0,02 W),$$

где N_0 — значение электронной концентрации при $W=0$, а W — значение солнечных пятен. Исследования Аллена и других относятся к периоду 18 цикла солнечной активности.

Как известно, 19 цикл солнечной активности характеризуется исключительно высокой интенсивностью. Максимум 19 цикла совпадает с максимумом векового хода солнечной активности и максимумом вековых ходов за последние три века. Индекс солнечной активности, характеризуемый числом Вольфа, достигал значения 300.

Исследование параметров, характеризующих ионизацию слоя F_2 за период роста солнечной активности 19 цикла (1956 — 1958 года), показало, что линейность зависимости параметров ионизации от W нарушается. Уже при значениях W порядка 100—120 для широты Томска интенсивность роста электронной концентрации значительно снижается.

При увеличении солнечной активности наблюдается не только нарушение линейности зависимости параметров ионизации от W , но также наблюдается, что некоторые параметры выражают тенденцию независимости от циклической активности Солнца [2]. Особенно отчетливо это наблюдается для параметров, характеризующих состояние ионизации в летние месяцы. Выявилось новое явление, которое было

названо нами—явление ограничения роста ионизации на уровне слоя F_2 .

Явление ограничения ионизации интересно как с точки зрения физических процессов, его обуславливающих, так и необходимости его учета при учете корреляции между гелио- и геопроцессами. Учет этого явления также необходим при прогнозировании состояния ионизации.

Данные наблюдений

Нарушение линейной зависимости изменения состояния ионизации слоя F_2 от солнечной активности можно проследить даже по изменению среднегодовых значений параметров. Параметры $f^\circ F_{2\max}$ (максимальные полуденные значения критических частот) и $f^\circ F_{2\sim}$ (суточное приращение критических частот) определяются в основном данными зимних месяцев.

Представляет интерес проследить нарушения линейности параметров ионизации слоя F_2 для отдельных месяцев.

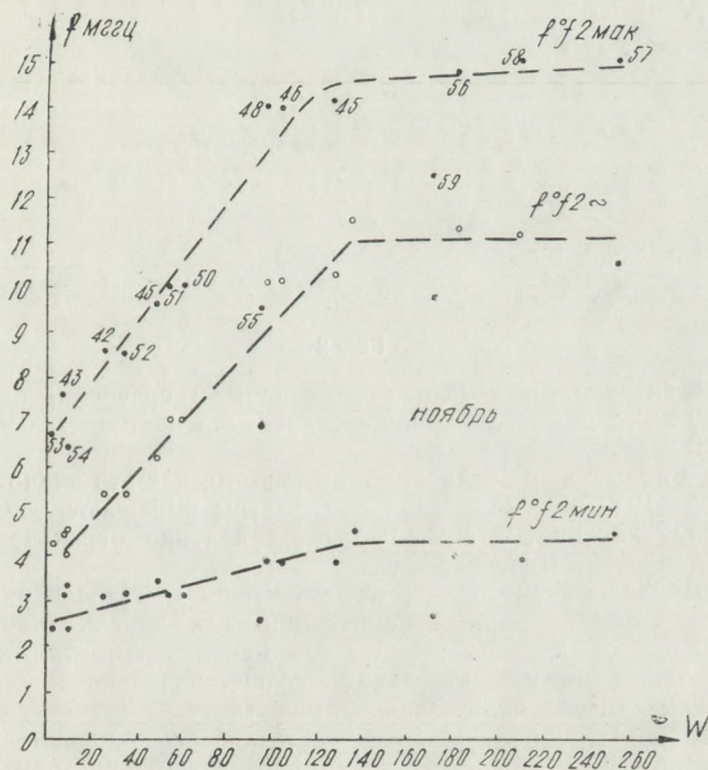


Рис. 1

На рис. 1 представлены графики изменения параметров: $f^\circ F_{2\max}$, $f^\circ F_{2\sim}$ и $f^\circ F_{2\min}$ за ноябрь, когда электронная плотность наиболее высокая в течение года. Как видно из рисунка, при значениях чисел Вольфа порядка 120 единиц линейность роста нарушается для всех рассматриваемых параметров.

Дальнейшее увеличение солнечной активности не вызывает роста ионизации в слое $F2$. Наблюдается явление ограничения роста параметров ионизации.

На рис. 2 представлены графики изменения рассматриваемых параметров за июнь в зависимости от солнечной активности. Из рисунка видно, что при росте значений $f^\circ F2_{\max}$ и $f^\circ F2_{\min}$ в годы пониженной

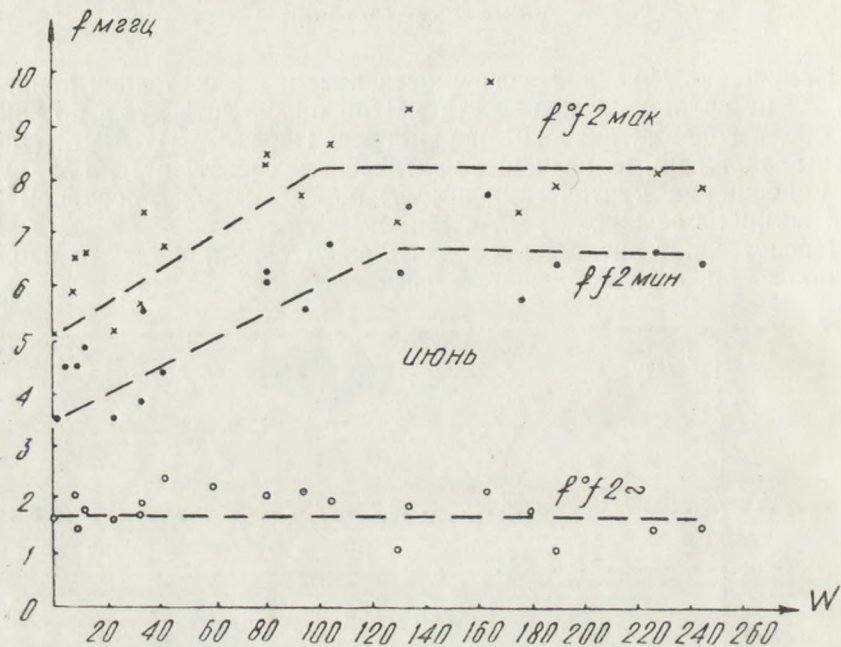


Рис. 2

солнечной активности, хотя и замедленном в сравнении с ноябрем, параметр $f^\circ F2_\infty$ имеет тенденцию сохранения постоянства на уровне порядка 2 мГц.

В годы повышенной солнечной активности, как это видно из рис. 3 (годы 1956—1959 и даже 1960), все параметры выражают тенденцию к постоянству значений, т. е. наблюдается явление ограничения роста ионизации.

Построение графиков для других месяцев дает аналогичную картину. Использование данных наблюдений для других станций, как Москва, Свердловск, расположенных на близких широтах к Томску, показало также на существование ограничения роста ионизации в слое $F2$ при большой солнечной активности.

При рассмотрении широтного распределения приращения ионизации в слое $F2$ [3] было показано существование широтного ограничения параметра $f^\circ F2$ в дни солнцестояний как в северном, так и южном полушариях. Циклическое ограничение при высокой солнечной активности выявлено также при исследовании временной зависимости параметра скорости нарастания ионизации в утренние часы в слое $F2$ [4].

Обсуждение данных наблюдений

Уравнение баланса ионизации простого слоя

$$\frac{dNe}{dt} = J - \alpha Ne^2 \quad (1)$$

полагает, что баланс ионизации является результатом уравнивания только двух процессов, а именно: ионизации и рекомбинации. В реальных условиях ионосферы, в частности на уровне слоя F_2 , может иметь место сильное изменение температуры и в связи с этим изменение плотности газовой среды. Результатом может быть снижение процесса ионообразования, так как значение J пропорционально плотности. С изменением температуры должно также иметь место и изменение значения эффективного коэффициента рекомбинации. Таким образом, температурный эффект должен привести к изменению значе-

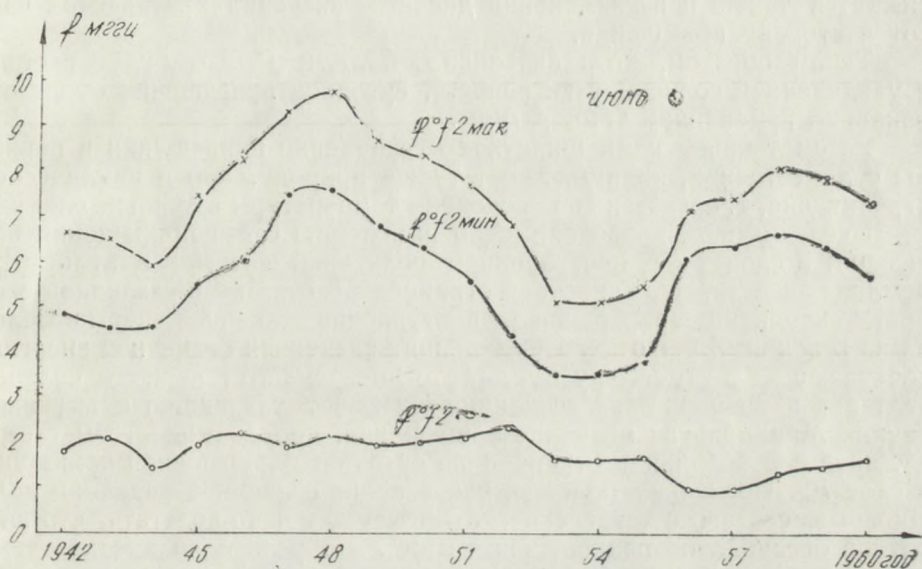


Рис. 3

ния N_e . Однако значение температуры связано, по всей вероятности, со значением поступления солнечной энергии в атмосферу Земли, и увеличение температуры должно сопровождать увеличение ионообразования и, наоборот, падение температуры должно сопровождаться падением интенсивности ионообразования.

При условии уравнивания процессов увеличения электронной плотности за счет усиления солнечной радиации и падения ее за счет увеличения температуры: с увеличением поступления солнечной радиации в атмосферу может наступать условие „тепловой балансировки“, или явление ограничения роста ионизации при увеличении интенсивности ионизирующей радиации.

„Температурной балансировкой“, по-видимому, можно объяснить нарушение линейности хода полуденных значений критических частот слоя F_2 и их постоянство в годы высокой солнечной активности.

В годы средней солнечной активности наблюдается, при постоянстве суточного приращения, рост максимальных и минимальных критических частот. Такой процесс возможен также и в годы большой солнечной активности для станций наблюдений, находящихся на других широтах.

Возможным механизмом объяснения такого явления может быть следующий: процесс ионизации связан с явлением рекомбинации. С увеличением солнечной активности растет электронная плотность, но также растет и температура и падает значение эффективного коэф-

фициента рекомбинации. В результате этого рекомбинация будет протекать более замедленно, и значения критических частот в утренние часы будут значительно выше, т. е. минимальные критические частоты будут расти. Конечно, рост минимальных критических частот в утренние часы будет обуславливаться также и тем, что будут возрастать дневные значения критических частот. Но как показали исследования осеннего максимума минимальных критических частот [5], увеличение значений $f^{\circ}F2_{\min}$ не может быть объяснено только одним повышением дневной ионизации. Замедление процесса рекомбинации скажется также и на изменении дневных значений критических частот в сторону повышения.

Таким образом, хотя значения $f^{\circ}F2_{\max}$ и $f^{\circ}F2_{\min}$ будут расти с увеличением солнечной активности, суточное приращение будет ограничено изменением температуры.

Рассмотренное нами широтное ограничение приращения в периоды солнцестояний, видимо, имеет ту же природу, что и циклическое ограничение, т. е. связано с изменением температуры на уровне слоя $F2$.

Исследования, проведенные по выяснению связи приращения ионизации в слое $F2$ с поступлением солнечной энергии в атмосферу Земли, показали, что широтное ограничение связано с различной скоростью изменения приращения от поступления солнечной энергии Солнца на различных широтах. При больших значениях солнечной энергии, поступающей в атмосферу Земли, что имеет место в периоды солнцестояний, приращение на всех широтах имеет тенденцию к выравниванию. Минимальная величина приращения, порядка одного мегагерца, является величиной ограничения суточного приращения ионизации в слое $F2$. Поскольку большое поступление солнечной радиации должно быть связано с нагреванием атмосферы, можно полагать, что широтное ограничение приращения в слое $F2$ обусловлено высокой температурой атмосферы.

Наблюдаемое постоянство суточного приращения в летний период в течение нескольких месяцев для станций низких широт и в течение одного—двух месяцев для станций умеренных широт, т. е. явление ограничения в годовом ходе, также, видимо, может быть объяснено значительным повышением температуры газовой среды в связи с большим поступлением солнечной радиации в атмосферу в летние месяцы.

Привлеченная нами, для объяснения явления ограничения, температурная гипотеза и изменение физического состояния атмосферы не являются противоречащими современным представлениям. Данные о температурном режиме по разным источникам, в том числе и наблюдения за искусственными спутниками, указывают на значительные изменения температуры на уровне слоя $F2$ [6] и дают уверенность в возможности объяснения наблюдаемых явлений температурными эффектами.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. F. Martyn, The Normal F-Region of the Ionosphere Proc. J. R. E., 1959, 47, № 2.
2. А. И. Лихачев, Нарушение цикличности ионизации слоя $F2$, Труды СФТИ, вып. 38, 1960.
3. А. И. Лихачев, Н. И. Потапова, Широтная зависимость суточного приращения ионизации слоя $F2$, Труды СФТИ, вып. 38, 1960.
4. Ю. Н. Елизарьев, О годовом ходе скорости нарастания ионизации области $F2$ в первую половину дня (печатается в этом сборнике).
5. А. И. Лихачев, Г. В. Егорова, Осенний максимум критических частот слоя $F2$, Труды СФТИ, вып. 38, 1960.
6. Физический энциклопедический словарь ВЭС, стр. 98—100, М., 1960.

О ГОДОВОМ ХОДЕ СКОРОСТИ НАРАСТАНИЯ ИОНИЗАЦИИ ОБЛАСТИ F_2 В ПЕРВУЮ ПОЛОВИНУ ДНЯ

Ю. Н. Елизарьев

Приводятся результаты исследований изменения скорости нарастания ионизации области F_2 ($V_{\text{ион.}}$) за первую половину дня. Показано, что годовое изменение $V_{\text{ион.}}$ и годовое изменение количества полной солнечной энергии, поступающего в атмосферу, связаны между собой обратной зависимостью. Годовые амплитуды скорости нарастания ионизации хорошо определяются среднегодовыми значениями чисел солнечных пятен. В летние месяцы скорость нарастания ионизации области F_2 на широте г. Томска не зависит от солнечной активности.

Из графиков суточного хода критических частот области F_2 видно, что изменение состояния ионизации этой области в отдельные часы носит различный характер. В утренние часы уровень ионизации области F_2 достигает своего минимального значения, что является результатом рекомбинационных процессов в неосвещенный период суток. С восходом Солнца под воздействием ультрафиолетового излучения количество свободных зарядов постепенно возрастает и отражательная способность данной области повышается (рост критических частот).

В местный полдень уровень ионизации отражающей области достигает своего максимума.

В вечерние часы перед заходом Солнца, когда следовало бы ожидать падения ионизации, мы наблюдаем увеличение ее, либо ионизация некоторое время остается неизменной. Причина, вызывающая образование вечернего максимума, до сих пор не выяснена. Есть только предположение, объясняющее это явление, которое состоит в том, что вечерний максимум обуславливается сжатием верхних слоев атмосферы после дневного разогревания.

Годовая закономерность изменения состояния ионизации в полночь, в утреннем минимуме, в полдень и в вечернем максимуме для области F_2 была исследована раньше [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Представляло интерес исследовать характер изменения сезонной скорости нарастания ионизации области F_2 (параметр $V_{\text{ион.}}$) в первую половину дня от утреннего минимума критических частот.

С этой целью для каждого месяца строился f -график из медианных значений критических частот (рис. 1). Как видно из рисунка, рост ионизации от утреннего минимума критических частот области F_2 в первую половину дня протекает по почти линейному закону. Поэтому через участок f -графика, где имеет место наибольший рост критических частот, проводилась прямая линия, образующая некоторый угол α° с осью времени. Затем определялся $\text{tg } \alpha^\circ$ для каждого месяца, который характеризует собой скорость нарастания ионизации.

В результате было получено изменение скорости нарастания ионизации области $F2$ в течение года по данным измерений, проведенных в период МГГ и МГС Томской ионосферной станцией СФТИ. Данные подсчета $V_{\text{ион.}} (\text{tg } \alpha^\circ)$ приведены в табл. 1 и 2. По данным этих таблиц построен график изменения $V_{\text{ион.}}$, представленный на рис. 2. Здесь же для сопоставления приведен график функции $\Phi(I_0) =$

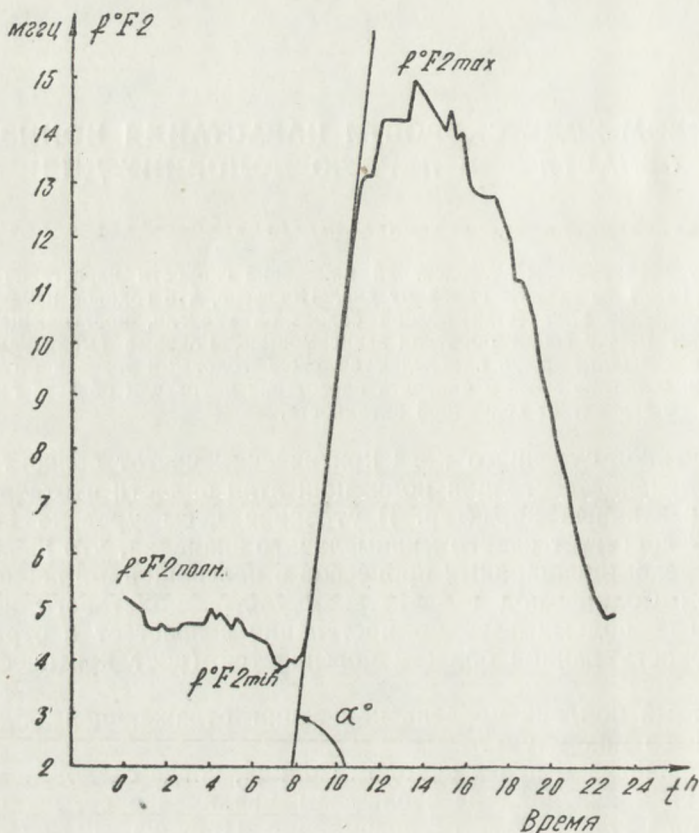


Рис. 1.

$=I_{0\text{max}} + I_{0\text{min}} - I_0 = A - I_0$, где I_0 — количество полной солнечной энергии, поступающее в атмосферу в разные времена года и рассчитанное для широты г. Томска на 15-е число каждого месяца (табл. 3) [7]; A — постоянная величина для данного года и равная сумме максимального и минимального значений годового хода функции I_0 .

В качестве единицы измерения энергии использованы так называемые экваториальные часы. Экваториальный час — это количество энергии, падающей в течение 1 часа на 1 см^2 горизонтальной поверхности на экваторе при нормальном падении солнечных лучей.

Как видно из рисунка, между этими кривыми существует достаточно хорошая корреляция. А так как функции Φ и I_0 связаны между собой обратной зависимостью, то это дает нам основание говорить о том, что между годовым ходом скорости нарастания ионизации области $F2$ в первую половину дня и количеством полной солнечной энергии, поступающим в атмосферу, существует обратная зависимость.

С физической точки зрения обратную зависимость между годовым ходом скорости нарастания ионизации области F2 в первую половину дня и годовым ходом количества полной солнечной энергии, поступающего в атмосферу, как нам кажется, можно объяснить тем, что с увеличением солнечной энергии, в конечном счете, повышается температура нагревания атмосферы. А с увеличением температуры происходит расширение отражающей области ионосферы. Причем, расширение области F2 и увеличение ионизации за счет ультрафиоле-

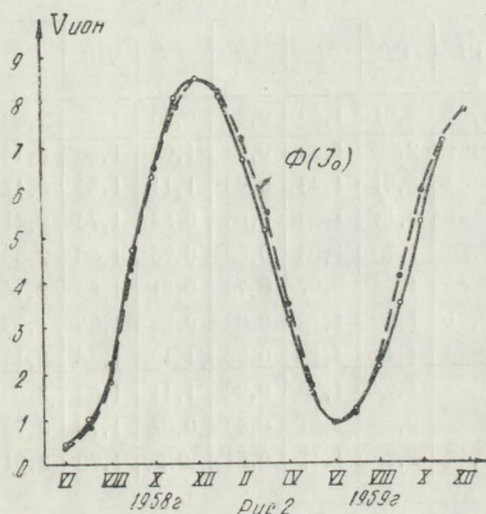


Рис. 2

тового излучения находятся в таком соотношении, что плотность ионизированных частиц падает. Следовательно, и эффективная скорость нарастания ионизации области F2 также падает.

Таблица 1

Значения $V_{ион.}$ за 1958 год

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$V_{ион.}$	8,14	6,31	4,33	2,05	1,60	0,49	0,93	1,88	4,70	6,31	8,14	8,56

Таблица 2

Значения $V_{ион.}$ за 1959 год

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$V_{ион.}$	8,14	6,69	5,14	3,17	1,57	0,93	1,19	2,10	3,49	5,31	7,12	7,77

Таблица 3

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
I_0	1,1	2,1	3,8	5,8	7,6	8,45	8,1	6,8	4,85	2,7	1,35	0,7
$\Phi(I_0)$	8,05	7,05	5,35	3,35	1,55	0,70	1,05	2,35	4,30	6,45	7,80	8,45

Для выявления зависимости $V_{\text{ион.}}$ от изменения солнечной активности в одиннадцатилетнем цикле было подсчитано значение $V_{\text{ион.}}$ с 1947 по 1957 год. Данные подсчета приводятся в табл. 4. По данным табл. 4, на рис. 3 приводится график изменения $V_{\text{ион.}}$ за время с 1947 по 1957 год. Здесь же приводится пунктиром график изменения $\Phi(I_0) = A - I^\circ$.

Таблица 4

*Значения $V_{\text{ион.}}$ области F2 в первую половину дня
с 1947 по 1957 год*

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1947	5,98	6,69	4,51	3,61	1,63	0,60	0,96	1,07	2,60	6,31	8,78	8,78
1948	7,60	6,69	4,51	2,82	1,33	0,93	1,02	1,60	2,14	4,33	6,31	7,60
1949	7,12	6,31	5,40	3,61	1,43	0,93	1,11	1,84	3,17	5,14	7,12	7,60
1950	7,60	5,98	4,01	2,14	1,28	0,65	0,87	1,73	2,41	4,01	5,40	6,31
1951	5,31	4,70	2,75	1,70	1,06	0,62	0,95	1,66	2,36	3,49	4,70	5,67
1952	4,70	3,61	2,48	1,84	0,97	0,74	0,81	1,63	2,14	2,75	4,16	4,92
1953	5,67	2,99	2,01	1,88	1,15	0,88	0,93	1,30	1,73	2,61	3,27	4,51
1954	4,99	2,75	2,36	1,43	1,19	0,98	1,13	1,48	2,14	2,99	4,01	4,92
1955	4,70	3,27	2,36	1,77	1,23	0,90	1,11	1,63	2,60	4,01	5,98	8,14
1956	7,12	4,70	3,27	2,36	1,51	0,53	0,67	1,76	3,73	5,67	8,78	10,39
1957	9,51	8,78	4,16	2,36	1,17	0,51	0,90	1,70	3,61	5,98	10,39	9,51

Из рассмотрения графика можно сделать следующие заключения:
1) изменение $V_{\text{ион.}}$ подвержено периодическим колебаниям с периодом в один год;

2) годовое изменение $V_{\text{ион.}}$ и годовое изменение количества полной солнечной энергии, поступающего в атмосферу, связано обратной зависимостью;

3) амплитуда колебаний годового хода изменяется с изменением солнечной активности в одиннадцатилетнем цикле;

4) в летние месяцы (с мая по август) значение $V_{\text{ион.}}$ почти не изменяется в течение всего периода рассматриваемых лет.

Подтверждение пунктов 1, 2 и 4 настоящего заключения имеет место при рассмотрении графика, приведенного на рис. 2.

Поскольку амплитуда годового хода $V_{\text{ион.}}$ определяется значениями зимних месяцев предыдущего и последующего годов, нами были подсчитаны средние межгодовые значения чисел солнечных пятен последующего и предыдущего годов. На рис. 4 приведены графики изменения годовых амплитуд $V_{\text{ион.}}$ и средних межгодовых значений чисел Вольфа (W) по данным табл. 5 и 6. Как видно из рисунка, изменение годовых амплитуд хорошо определяется ходом изменения средних межгодовых значений чисел Вольфа.

На рис. 5 приводятся графики изменения месячных значений $V_{\text{ион.}}$ за цикл лет (с 1947 по 1957 год). Из рисунка видно, что равнозначные месячные значения $V_{\text{ион.}}$ для месяцев (с января по март) сдвинуты на один год по сравнению с такими же значениями для месяцев (с октября по декабрь).

Почти независимость от одиннадцатилетнего цикла солнечной активности значений $V_{\text{ион.}}$ наблюдается для июня и июля, для мая и августа она выражается слабой зависимостью.

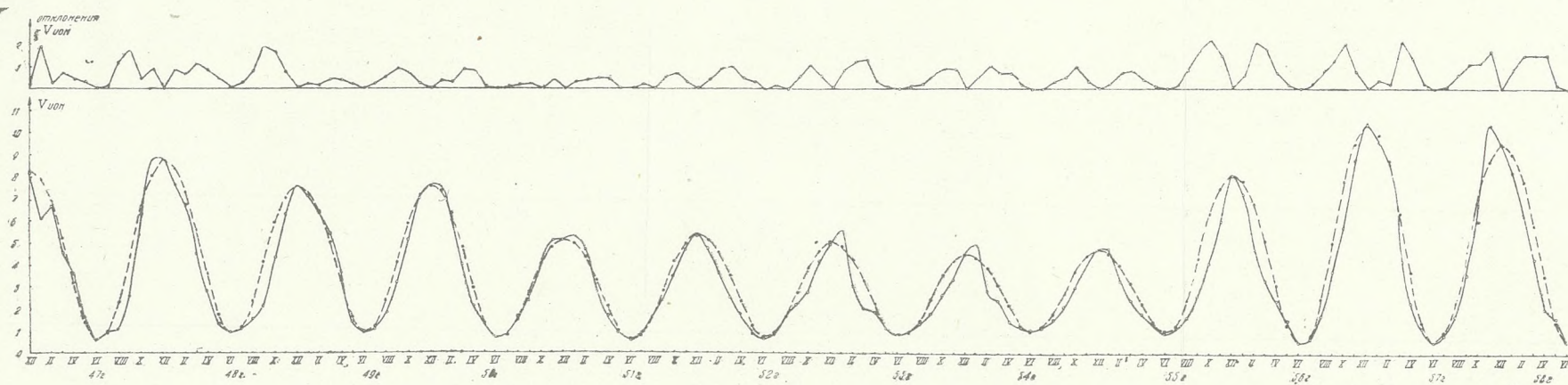


Рис. 3

Для выявления зависимости $V_{\text{ион.}}$ от изменения солнечной активности в одиннадцатилетнем цикле было подсчитано значение $V_{\text{ион.}}$ с 1947 по 1957 год. Данные подсчета приводятся в табл. 4. По данным табл. 4, на рис. 3 приводится график изменения $V_{\text{ион.}}$ за вре-

месяцев (с октября по декабрь).

Почти независимость от одиннадцатилетнего цикла солнечной активности значений $V_{\text{ион.}}$ наблюдается для июня и июля, для мая и августа она выражается слабой зависимостью.

Причем, эта слабая зависимость наблюдается в основном в годы, близкие к минимуму. По графикам рис. 5 можно сделать заключение о том, что наиболее зависимыми месяцами для значений $V_{\text{ион.}}$ к вариации солнечной активности, особенно в годы максимума, являются зимние месяцы. В годы минимума эта зависимость для зимних месяцев сильно падает.

Большой зависимостью от солнечной активности, по-видимому, можно объяснить те резкие колебания и отклонения от хода функции $\Phi(I_{\odot})$, которые наблюдаются для зимних месяцев ряда рассмотренных лет.

Прослеженная независимость $V_{\text{ион.}}$ от солнечной активности в

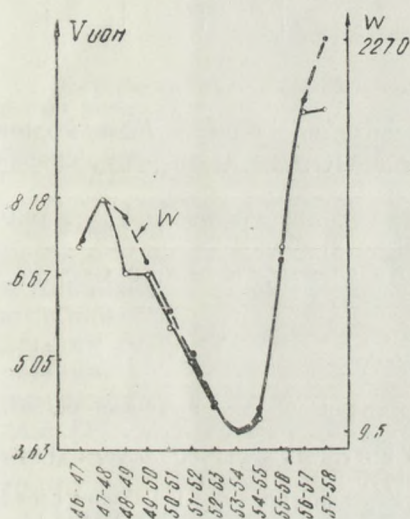


Рис. 4

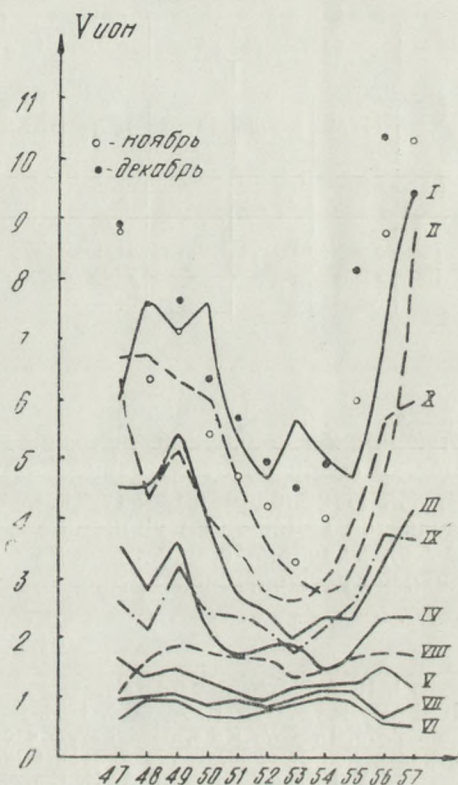


Рис. 5

летние месяцы (июнь-июль) подтверждает предположение, высказанное в работе [8] о том, что в летние месяцы ионизация области F2 на широте Томска находится в состоянии ограничения. С увеличением солнечной активности состояние ограничения ионизации достигается для мая и августа, а также частично для апреля и сентября.

Таблица 5

Годовые амплитуды $V_{\text{ион.}}$

	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
$V_{\text{ион.}}$	7,29	8,18	6,67	6,67	5,66	5,05	4,18	3,63	3,94	7,24	9,86	9,88

Хорошая корреляция годовых амплитуд скорости ионизации области F2, так же, как и амплитуд $f^{\circ}F2$, с солнечной активностью и независимость летних значений $V_{\text{ион.}}$ от солнечной активности подтверждает вывод о том, что сопоставление состояния ионизации

области F_2 с солнечной активностью целесообразно проводить для среднегодовых данных или только для месяцев, имеющих сильную зависимость от солнечной активности, например, декабрь, январь.

Таблица 6

Средние межгодовые значения чисел Вольфа

	46—47	47—48	48—49	49—50	50—51	51—52	52—53	53—54	54—55	55—56	56—57
W	117,1	139,5	131,0	105,4	76,8	53,5	26,8	9,5	24,3	107,1	195,7
	57—58										
W	226,8										

Выводы

1. Годовое изменение скорости ионизации области F_2 и количества полной солнечной энергии, поступающего в атмосферу, связаны между собой обратной зависимостью.
2. Изменение амплитуды колебаний годового хода $V_{\text{ион.}}$ определяется изменением солнечной активности.
3. Значение скорости ионизации области F_2 в летние месяцы не зависит от солнечной активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. А. Кориневская, Обзор состояния ионосферы в Томске с 1936 по 1953 год, Труды СФТИ, вып. 33, 1954.
2. М. П. Рудина, Структура слоя F_2 в ночное время по данным Томской ионосферной станции, Труды СФТИ, вып. 33, 1954.
3. А. И. Лихачев и А. И. Слухай, Утренний минимум ионизации слоя F_2 , Труды СФТИ, вып. 33, 1954.
4. А. И. Лихачев, О зависимости состояния ионизации слоя F_2 в дневное время от солнечной активности, Труды СФТИ, вып. 33, 1954.
5. М. П. Рудина, Состояние области F ионосферы в полдень по данным Томской ионосферной станции, Труды СФТИ, вып. 33, 1954.
6. А. И. Лихачев, Вечерний максимум ионизации слоя F_2 , Труды СФТИ, вып. 33, 1954.
7. С. К. Митра, Верхняя атмосфера, М., 1955.
8. А. И. Лихачев, Солнечная освещенная составляющая ионизации области F_2 , Астр. журнал, № 1, 1960.

ПРОФИЛИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ F СЛОЯ ИОНОСФЕРЫ ПО ДАННЫМ ТОМСКОЙ ИОНОСФЕРНОЙ СТАНЦИИ

Н. И. Серебренникова

В статье приводятся предварительные результаты расчета распределения электронной концентрации с высотой. Обсуждаются среднемесячный разрез за июль 1957 года, годовой ход полуденных и полуночных значений электронной плотности за 1957 год, распределение электронной плотности в вечернем максимуме за июль—август 1957 года, по данным Томской ионосферной станции.

В настоящее время распределение электронной концентрации с высотой исследуется с помощью ракет, спутников Земли, методом вертикального импульсного зондирования. Ракетные измерения являются эпизодическими и поэтому особую важность приобретает исследование $N(h)$ профилей методом вертикального импульсного зондирования. В данной статье рассматриваются некоторые предварительные результаты расчета $N(h)$ профилей, проведенных методом Баддена [1], по данным наблюдений Томской ионосферной станции. Этот метод относится к классу методов интегрального уравнения, суть которого состоит в следующем.

Интегральное уравнение

$$h'(f) = \int_0^h \rho'(f, N) dh, \quad (1)$$

где ρ' — групповой показатель преломления, h' — кажущаяся высота, f — частота зондирования, N — электронная концентрация, представляется в матричной форме.

Дальнейшее решение задачи сводится к вычислению элементов матрицы и к обращению ее. Имея обратную матрицу и ряд табулированных значений кажущихся высот, находят истинные высоты отражения.

Метод Баддена, как и многие другие, основан на обращении интегрального уравнения (1), а потому предполагает монотонное изменение электронной плотности с высотой, что ведет к дополнительным неточностям при обработке дневных ионограмм с наличием нескольких максимумов ионизации.

1. Суточные профили ионизации

В статье приводится средний суточный профиль ионизации за 10 дней июля 1957 года (рис. 1).

На рис. 1а сплошные линии изображают изменение электронной концентрации со временем суток на постоянных уровнях высоты ($N(f)$ —профили), пунктиром нанесен ход критических частот.

На рис. 1б приведено изменение высоты при постоянном N .

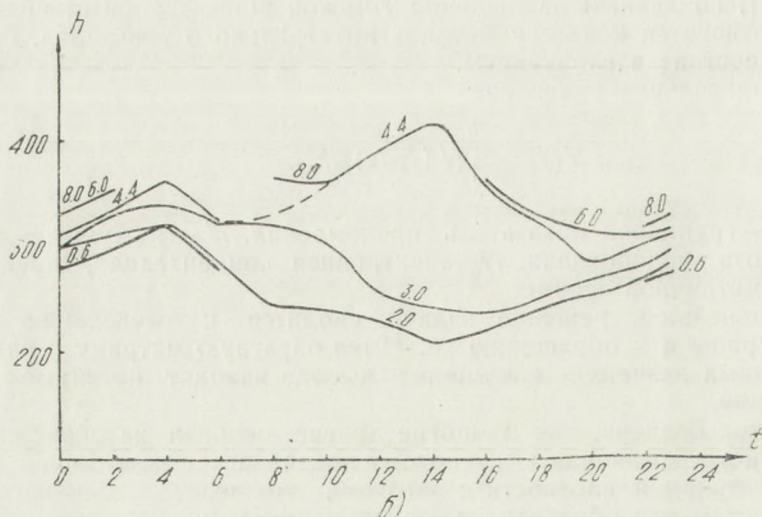
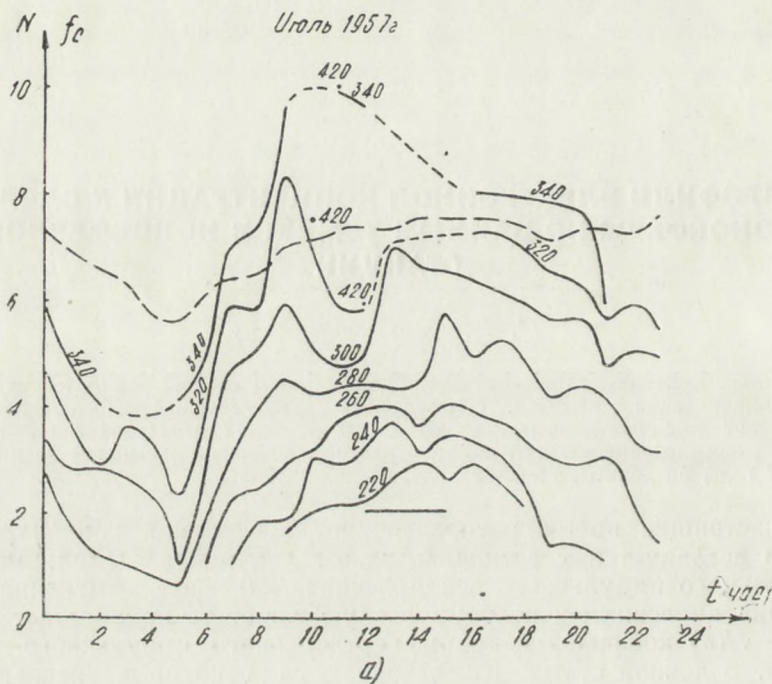


Рис. 1

Из рис. 1 видно, что изменение электронной концентрации на разных уровнях в основном соответствует изменению критической частоты слоя F2, однако, на более высоких уровнях электронная концентрация изменяется более интенсивно. Например, при образова-

нии утреннего минимума ионизации в суточном ходе изменение электронной плотности составляет $0,2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}/\text{час}$ на уровне 280 км, а на уровне 300 км — $1,3 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}/\text{час}$.

В вечерние часы, между 19.00 и 23.00 часами, электронная плотность повышается и образуется так называемый вечерний максимум ионизации, который на более низких уровнях образуется раньше, чем на верхних, и имеет разную продолжительность. Более подробно о вечернем максимуме будет изложено ниже.

Из рассмотрения зависимости $h(f)$ при постоянном N видно, что во время утреннего минимума ионизации высоты увеличиваются. Затем, с уменьшением зенитного угла Солнца высоты начинают падать и достигают минимума в полдень. На более высоких концентрациях ($4,4 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$) высота в полдень увеличивается, что связано с раздвоением области F на $F1$ и $F2$.

2. Распределение электронов во время вечернего максимума ионизации

Одной из характерных особенностей состояния ионизации слоя $F2$ является ее несоответствие с изменением зенитного угла Солнца в суточном ходе ионизации. Это несоответствие состоит в образовании так называемых утреннего минимума и вечернего максимума ионизации [2, 3]. Существует предположение, что эти аномалии обуславливаются температурными процессами в ионосфере.

На среднемесячном графике вечерний максимум не сказывается, так как часы захода смещаются, поэтому для изучения этого эффекта необходимо рассматривать профили за каждые сутки.

Были построены профили электронной концентрации вечернего максимума ионизации для промежутка времени с 9 июля по 10 августа 1957 года, за исключением 4-х дней (с 12 по 15 июля). Строили также высотные профили $h(f)$, чтобы проследить поведение высоты в вечерние часы.

Из 29 дней, для которых построены профили за период образования вечернего максимума ионизации, четко виден максимум только за 20 дней. На рис. 2 приведен вертикальный разрез за 10 июля 1957 года, где наиболее четко виден вечерний максимум ионизации. Анализ указанных выше профилей дает следующие результаты.

Вечерний максимум ионизации в это время года образуется в интервале от 19.00 до 23.00 часов, продолжительность образования вечернего максимума ионизации от одного до двух часов и величина его $\Delta N \approx (0,3 - 0,2) \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$, если считать, что ΔN есть разность значений плотности в максимуме и в минимуме перед ним.

Вечерний максимум на более низких уровнях образуется несколько раньше, чем на более высоких уровнях, и имеет разную продолжительность.

Вечерний максимум объясняется тепловым сжатием газа после дневного разогрева ионосферы, и так как на более низких уровнях Солнце заходит раньше, то и охлаждение наступает раньше, что приводит к более раннему образованию максимума.

Проводилось сопоставление электронной концентрации в вечернем максимуме с полуночными и полуденными значениями электронной концентрации. Была подсчитана разность электронной концентрации в вечернем максимуме в полдень на одной и той же высоте. Обнаружилось что N полуденный превышает N вечерний на $(0,3 - 0,8) \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$. Есть дни, когда концентрация вечером и в полдень одинакова, а иногда N вечерний $> N$ полуденного.

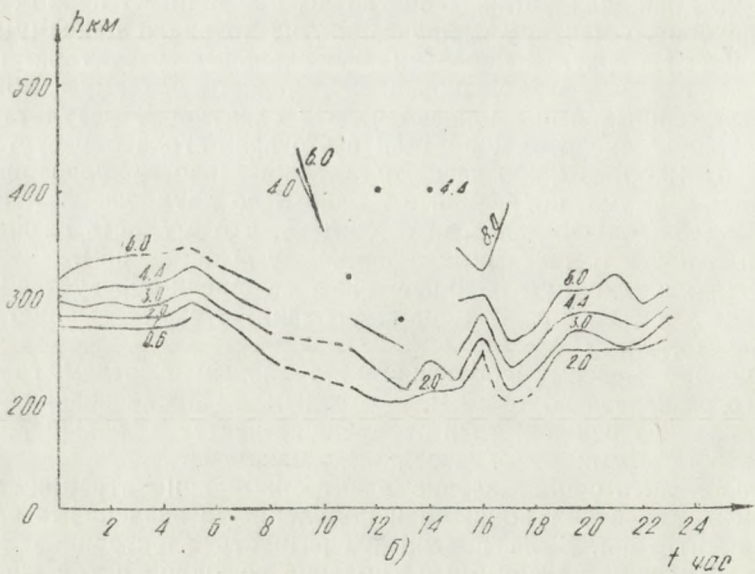
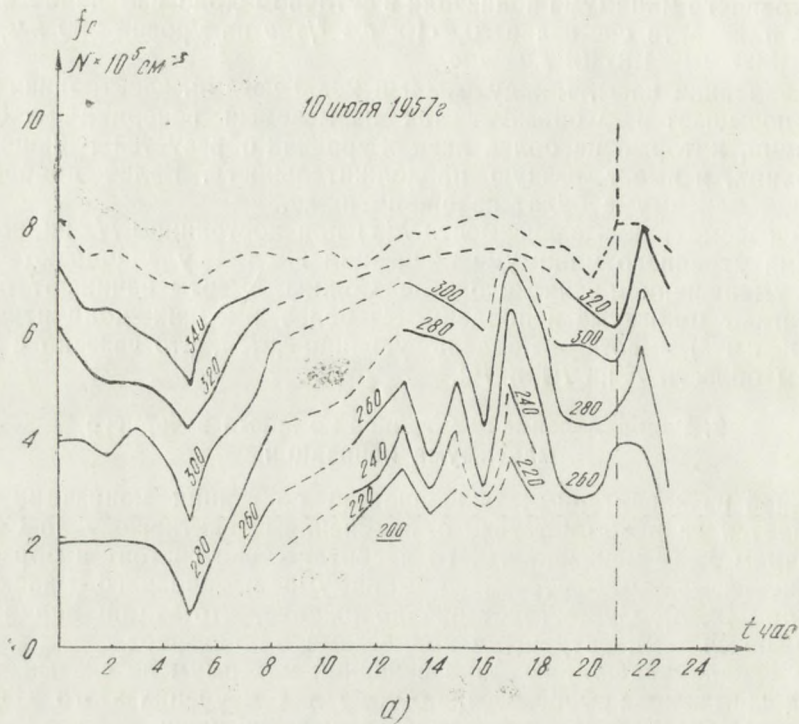


Рис. 2

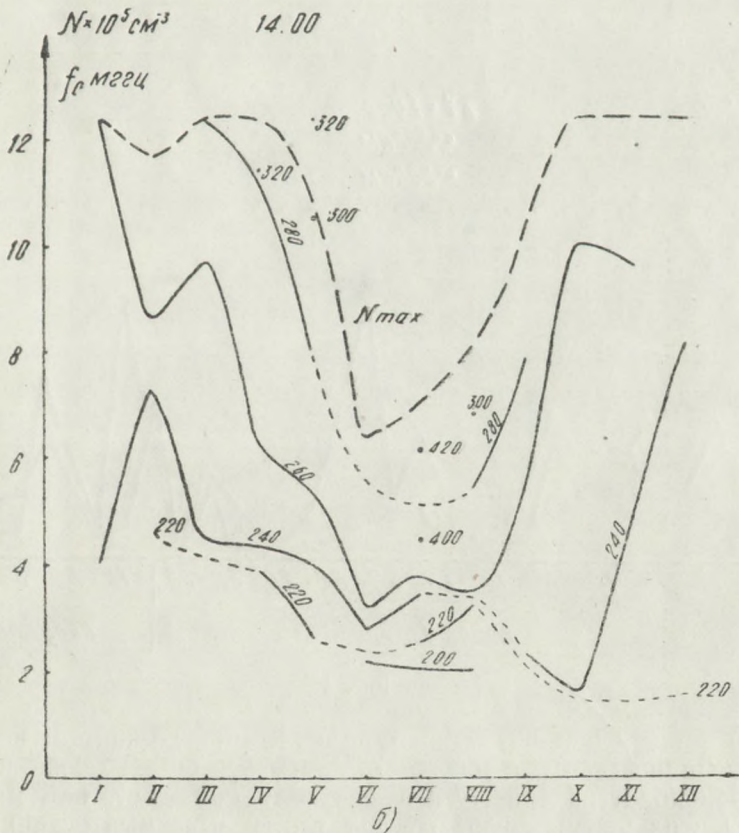
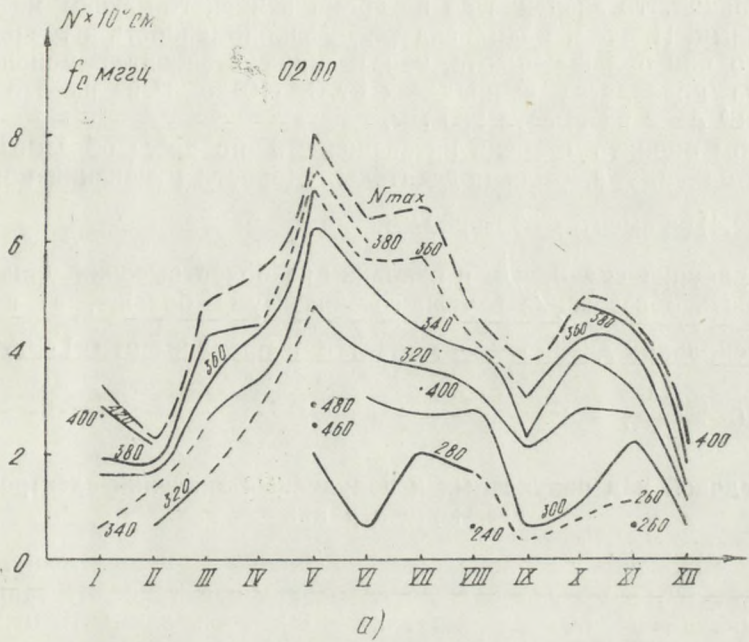


Рис. 3

Что касается сравнения с полуночными значениями электронной концентрации, то значение ее во время вечернего максимума больше полуночных. Причем, подмечена такая закономерность в течение всех дней: что чем больше высота, тем разница становится меньше. Разница эта колеблется в пределах от $0,1 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ на высоте 320 км до $5,4 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ на высоте 280 км.

Чтобы оценить степень интенсивности процесса образования вечернего максимума, были подсчитаны скорости изменения ионизации $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ (рис. 4) на высотах 300 и 280 км.

Из рисунка видно, что в основном на более высоких уровнях интенсивность образования вечернего максимума больше, за исключением нескольких дней. $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ меняется в пределах от $0,1 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}/\text{час}$ до $2,4 \cdot 10^5 \frac{\text{см}^{-3}}{\text{час}}$.

3. Годовой ход полуночных и полуденных значений электронной концентрации

Для выяснения годового хода электронной концентрации за три дня каждого месяца строили средний профиль (рис. 3). Такие построения были сделаны для 2.00 и 14.00 часов за 10, 15 и 20 числа каждого месяца 1957—1958 годов.

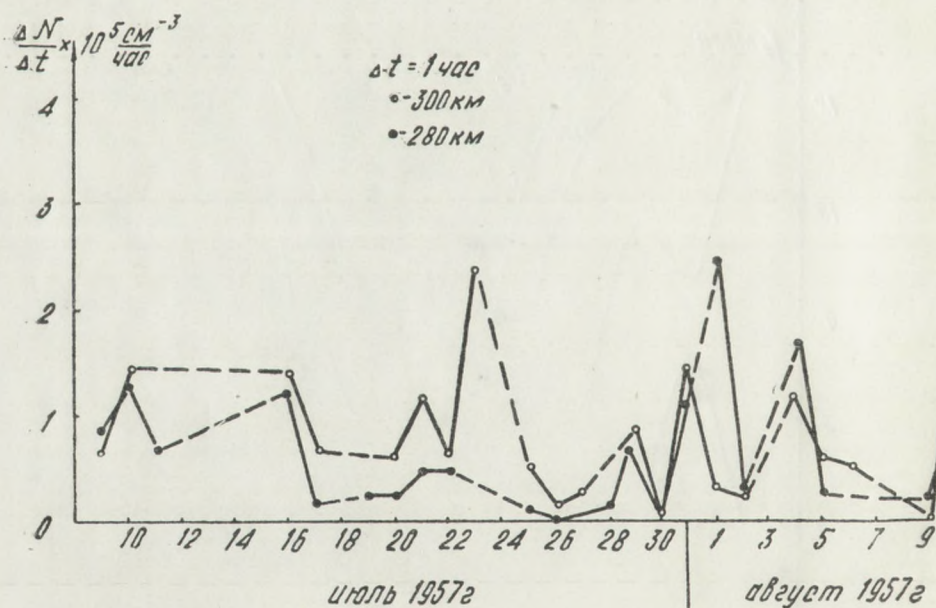


Рис. 4

Электронная концентрация в полночь имеет минимум в феврале, затем увеличивается и в мае достигает максимума. В июне, июле, августе происходит падение N и в сентябре оно достигает минимума. Затем на всех уровнях наблюдается так называемый осенний максимум ионизации, который значительно ниже максимума в мае.

Совсем иная картина годового хода полуденных значений электронной концентрации. Так как 1957 год отличался повышенной солнечной активностью, критические частоты были очень велики, особенно осенью и зимой. Это отразилось и в годовом ходе полуденных значений.

Возрастание N относительно летних месяцев идет несимметрично в первом и втором полугодиях. Это подтверждает известную несимметричность хода критических частот с изменением зенитного угла Солнца. Так, например, в августе значение электронной концентрации приблизительно такое же, как и в июне.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. G. Budden, A Method for determining the variation of Electron Density with Height ($N(z)$ curves) from curves of Equivalent Height against Frequency ($h'(f)$ curves), Report of the Physics of the Ionosphere, Cambridge, 1955, p. 332—339.
2. А. И. Лихачев, Вечерний максимум ионизации слоя F_2 , Труды СФТИ., вып. 33, стр. 51—65, 1954.
3. А. И. Лихачев и А. И. Слухай, Утренний максимум ионизации слоя F_2 , Труды СФТИ, вып. 33, стр. 72—85, 1954.

АНОМАЛИЯ ГОДОВОГО ХОДА СЛОЯ F_2 , КАК ФУНКЦИЯ ПОСТУПЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ В АТМОСФЕРУ ЗЕМЛИ

А. И. Лихачев

Определяется значение годовой аномалии ионизации слоя F_2 , как разности между изменением ионизации слоя по закону простого слоя и фактически измеренными значениями критических частот. Показывается, что годовая аномалия хорошо коррелируется со значением функции поступления солнечной радиации в атмосферу.

Устанавливается зависимость годовой аномалии от циклической активности Солнца. Предлагается метод прогнозирования медианных полуденных значений критических частот.

Одной из особенностей изменения ионизации слоя F_2 является так называемая годовая аномалия, выражающаяся в том, что в летнее время полуденные значения критических частот имеют меньшие значения, чем зимой. Согласно теории образования простого ионизированного слоя, изменение ионизации в течение года должно протекать в соответствии с формулой:

$$f_{кр} = B \sqrt[4]{\cos z_n},$$

где z_n — зенитный угол Солнца в полдень. Как известно, эта формула описывает достаточно точно годовое изменение критических частот слоев E и F_1 . Годовое изменение критических частот слоя F_2 не подчиняется этой закономерности и даже более — противоположно ей. Эту аномалию в поведении слоя F_2 общепринято объяснять изменением температуры атмосферы на уровне слоя.

Каков вид температурной функции изменения ионизации и ее связь с зенитным углом Солнца, пока, как нам известно, не установлено. Результаты измерений температуры, определенной различными методами, имеют достаточно большой разброс и самое главное, что они несистематичны. В большинстве случаев измерения температуры проводились эпизодично, относясь к какому-нибудь периоду года или сезону. То же можно сказать и о ракетных измерениях на больших сравнительно высотах. Они являются более реперными для проверки измерений, проведенных другими методами. И пока наиболее систематическим методом исследования верхних слоев атмосферы являются радиометоды. Разумно было бы искать температурную функциональную зависимость из результатов наблюдений, основанных на радиометодах.

При рассмотрении зависимости широтного приращения ионизации в слое F_2 [1] было показано, что на значение параметра $f^\circ F_2$ — сильное влияние оказывает величина солнечной энергии, поступающей в

атмосферу Земли. Для определения влияния солнечной радиации, поступающей в атмосферу, на значение ионизации слоя F_2 предлагается методика, основанная на следующих предположениях.

В зимние месяцы на средних широтах температурное влияние солнечной радиации мало, о чем свидетельствует зимний минимум критических частот (декабрь—январь). Будем полагать, что наблюдаемые значения критических частот в декабре в полдень мало отличаются от значений критических частот простого слоя. Зная значение критической частоты в декабре в полдень, рассчитываем для широты Томска полуденные значения критических частот по формуле изменения простого слоя для других месяцев. Построенный график, по рассчитанным данным, будет характеризовать изменение полуденных значений критической частоты слоя F_2 при отсутствии годовой аномалии. Справедливость этой кривой не подлежит критике в том случае, если в годовом ходе критических частот наблюдается зимний минимум. Если в декабре будет иметь место температурный эффект, то это скажется только на количественной стороне определяемых значений критических частот, но не на самом виде кривой годового хода. Для Томска, где зимний минимум критических частот наблюдается регулярно, можно полагать, что рассчитанные данные мало будут отличаться от действительных.

Помесячное вычитание наблюдаемых значений критических частот из рассчитанных допускает определить вид и значение годовой температурной аномалии слоя F_2 . На рис. 1 представлены графики: 1) наблюдаемые медианные значения $f^\circ F_{2\max}$ за годы с 1957 по 1959 по данным измерений Томской ионосферной станции; 2) рассчитанные значения $f^\circ F_{2\max}$ по формуле простого слоя для широты Томска; 3) график разности критических частот между рассчитанными значениями и наблюдаемыми (нижняя пунктирная кривая); 4) график количества солнечной энергии, поступающей в атмосферу Земли на широте Томска (нижняя сплошная кривая).

Годовой ход количества солнечной энергии, поступающей в атмосферу Земли, и разности критических частот, как видно из рисунка, хорошо коррелируются.

Полученное расхождение кривых поступления солнечной радиации в атмосферу и годовой аномалии в июле—августе—сентябре для каждого года может быть охарактеризовано как своеобразное проявление годовой аномалии. Повышенное значение годовой аномалии в эти месяцы над значением солнечной радиации может указывать на запаздывание процесса температурного проявления или длительность процесса установления ионизации в слое.

Обработка материалов наблюдений Томской ионосферной станции по исследованию годовой аномалии слоя F_2 с 1946 года дала аналогичную картину с указанным своеобразием во вторую половину лета. Оказалось, что амплитуда кривой, характеризующая аномалию годового хода, меняется год от года; она имеет наименьшее значение для лет минимума и возрастает с увеличением солнечной активности.

На рис. 2 приведен график изменения амплитуд годовой аномалии слоя F_2 по данным Томска в зависимости от изменения солнечной активности, выраженной числами Вольфа. Цифры, стоящие у точек, означают год наблюдения. Зависимость, как видно из графика, получается близкой к линейной. Наибольшее отклонение наблюдается в годы максимума солнечной активности 1948—1949 и 1958—1959. Для опробирования результатов исследования, проведенных по мате-

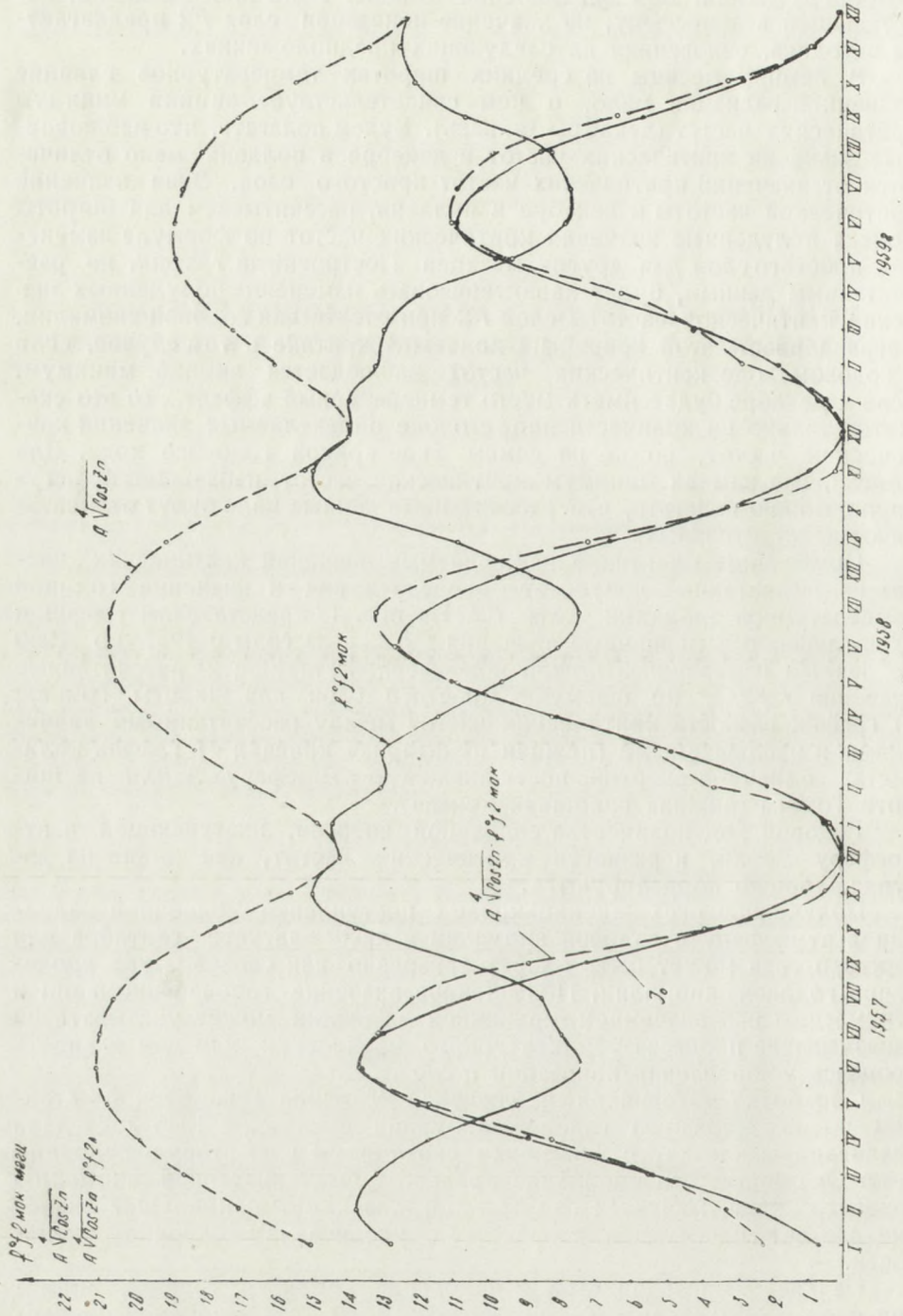


Рис. 1.

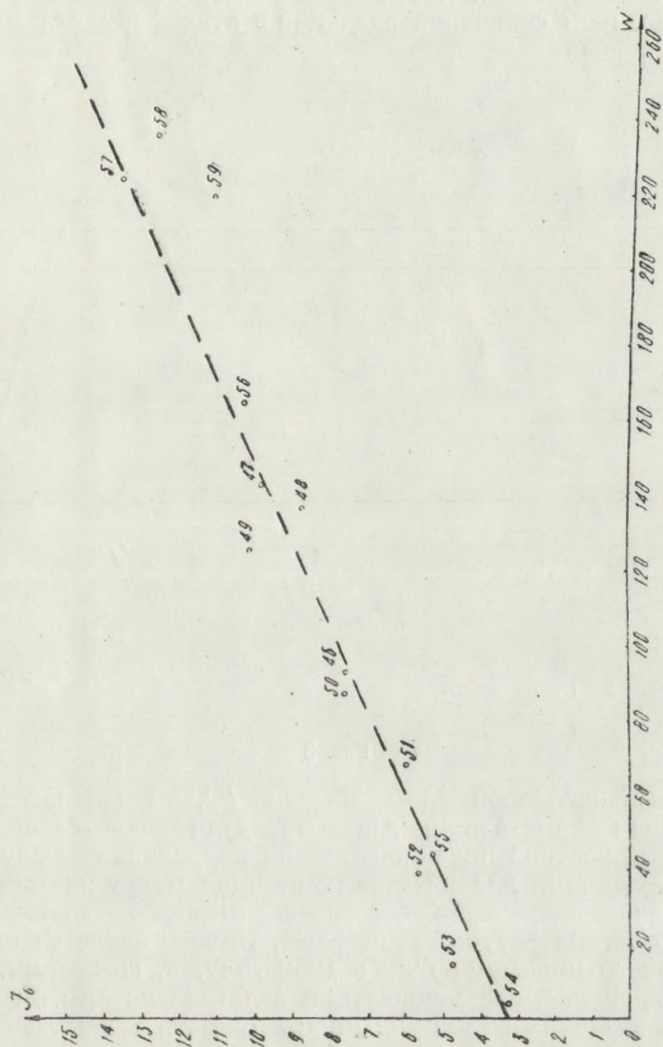


Рис. 2

риалам наблюдений Томской станции, нами были проведены аналогичные расчеты и построение для других станций по материалам МГГ за 1958 год.

На рис. 3 приведены графики годовой аномалии слоя F_2 для станций Москва и Свердловск. Корреляция между ходом годовой аномалии и поступлением солнечной радиации в атмосферу для этих станций также хорошая.

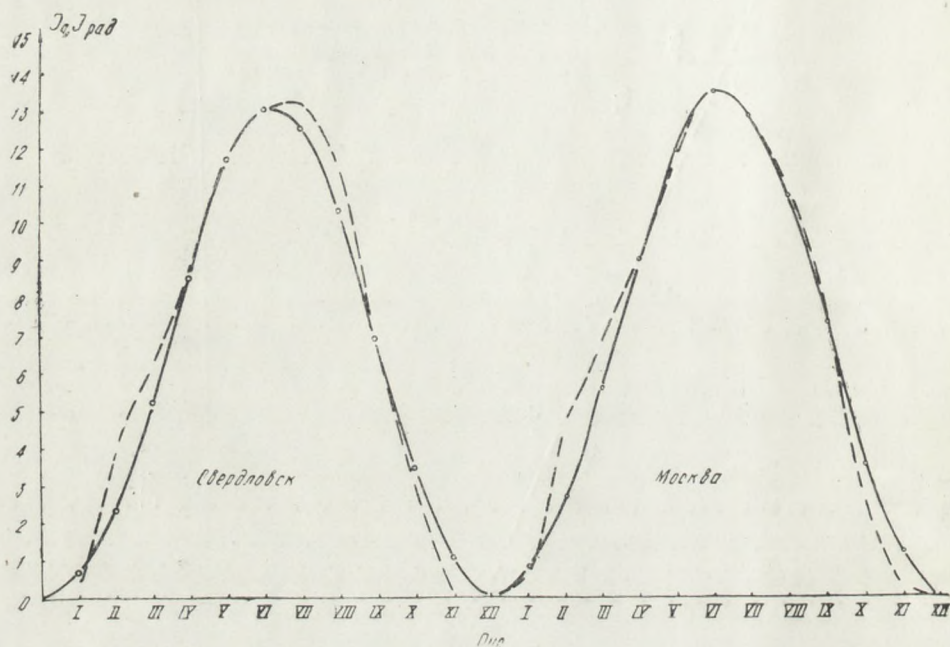


Рис. 3

Исследования годовой аномалии слоя F_2 , выполненные по материалам станции Алма-Ата и Ашхабад, дали значительно худшую корреляцию. Вероятной причиной плохой корреляции между рассматриваемыми явлениями для указанных станций могут явиться, во-первых, еще значительное влияние в зимние месяцы на состояние ионизации слоя F_2 температуры атмосферы, о чем свидетельствует отсутствие зимнего минимума f^oF_2 в 1958 году, и, во-вторых, явления сильного ограничения роста ионизации в летние месяцы. Явление ограничения ионизации в слое F_2 может оказать существенное влияние на исследование годовой аномалии и поэтому до выяснения картины широтного проявления ограничения дальнейшие исследования по годовой аномалии для тех станций, где явление ограничения сильно выражено, вряд ли имеют достаточное обоснование.

Проведенными исследованиями устанавливается достаточно четкая связь между явлением годовой аномалии в слое F_2 и поступлением солнечной радиации в атмосферу Земли для станции Томск, а также близширотных станций Москва и Свердловск. Видимо, можно полагать, что для среднеширотных станций исследованная зависимость является справедливой. Надо думать, что эта зависимость справедлива и для других широт, но требует дополнительного учета проявления ограничения на состояние ионизации слоя F_2 .

Если полагать, что в конечном итоге энергия солнечной радиации перейдет в тепловую, то тем самым явление годовой аномалии

можно считать обусловленным тепловыми процессами атмосферы. Вид годовой температурной функции, обуславливающей годовую аномалию слоя F_2 , можно считать соответствующей функции поступления солнечной радиации в атмосферу Земли.

Установление функции годовой аномалии в ионизации слоя позволяет выражать значение максимальной полуденной ионизации слоя F_2 следующей формулой:

$$f^\circ F_{2\text{полуд.}} = A \sqrt[4]{\cos z_n - BI_0},$$

где z_n — зенитный угол для данной широты, коэффициенты A и B — амплитудные значения годового хода расчетного значения критических частот по формулам простого слоя и годового хода поступления солнечной радиации в атмосферу, зависящие от солнечной активности. Зная экспериментальную зависимость коэффициентов A и B от солнечной активности, можно рассчитать первый и второй члены правой части уравнения и по ним определить годовой ход максимальных полуденных значений критических частот слоя F_2 для заданной широты.

Таким образом, выявляется новый, возможный метод прогнозирования полуденных значений критических частот слоя F_2 . Для прогнозирования требуются знание среднегодовых значений чисел Вольфа, рассматриваемого цикла солнечной активности и наличие выявленной зависимости коэффициентов A и B от солнечной активности.

Выявленная связь между амплитудами годовой аномалии слоя F_2 и солнечной активностью позволяет также использовать явление годовой аномалии как индикатор солнечной активности.

В решении проблемы Солнце—Земля годовая аномалия слоя F_2 может быть использована как дополнительный фактор выяснения связи между гелио- и геоявлениями.

Заключение

Если считать, что наши предположения обоснованы и результаты экспериментальной проверки надежны, то можно полагать, во-первых, что годовая аномалия слоя F_2 полуденных значений критических частот обусловлена фотонным излучением Солнца; во-вторых, аномалия годового хода полуденных значений критических частот является аномалией температурной, так как энергия фотонного излучения в конечном итоге должна перейти в тепловую; в-третьих, годовой ход температуры на уровне слоя F_2 в конце лета имеет повышенное значение, которое может быть обусловлено или длительностью процессов установления или другими причинами.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Лихачев, Н. И. Потапова, Широтное распределение приращения ионизации слоя F_2 , Труды СФТИ, вып. 38, 1960.

О СВЯЗИ ПРИРАЩЕНИЯ ДНЕВНОЙ ИОНИЗАЦИИ СЛОЯ F_2 С ПОСТУПЛЕНИЕМ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В АТМОСФЕРУ

А. И. Лихачев

В работе обсуждено широтно-годовое распределение суточного приращения ионизации слоя F_2 . Сделано сравнение поступления суточнoсолнечной радиации в атмосферу с распределением суточного приращения ионизации в слое F_2 . Показано, что широтная аномалия распределения приращения в период солнцестояния в летнем полушарии обусловлена большим значением поступления в атмосферу солнечной радиации.

Электронная плотность в максимуме слоя связана со значением солнечной активности (зенитным углом) как в суточном, так и годовом ходе. Однако ионизационные проявления солнечной радиации сильно зависят от состояния атмосферы. Поэтому при равных значениях поступления солнечной радиации в атмосферу изменение электронной плотности в слое может быть неодинаково. Для выяснения связи изменения ионизации в максимуме слоя F_2 с зенитным углом Солнца был введен параметр $f^\circ F_2 \sim [1]$, характеризующий приращение ионизации от утреннего минимума до дневного максимума.

Построение карты широтного распределения приращения показало, что величина параметра $f^\circ F_2 \sim$ в сильной степени зависит от длительности освещенности атмосферы [2]. В связи с этим было сделано определение количества солнечной радиации, поступающей в атмосферу на различных широтах в зависимости от времени года.

На рис. 1 представлена карта широтного распределения поступления солнечной энергии в атмосферу в течение года, нанесенная на карту широтного распределения приращения ионизации слоя F_2 .

На карте равные значения поступления солнечной энергии в атмосферу соединены пунктирными линиями. Изолинии равных значений солнечной энергии в экваториальных часах образуют контурную карту распределения солнечной радиации в течение года по земной поверхности.

Из рассмотрения карты можно видеть, что распределение в северном полушарии одинаково с распределением в южном полушарии со сдвигом на полугодие. Экваториальная симметричность нарушена; ось симметрии проходит приблизительно на 5° севернее экватора.

В дни солнцестояний (северном—июнь, а южном—декабрь) наблюдаются области от высоких широт до $\pm 20^\circ$ равных значений поступления солнечной радиации в атмосферу. Максимальное значение поступления солнечной энергии в южном полушарии более на один экваториальный час, чем в северном полушарии.

Для лучшего представления о распределении солнечной энергии по широтам на рис. 2 приведены графики распределения за период

равноденствия и солнцестояний. Как видно из рисунка, в дни солнцестояний наблюдается резкий переход поступления солнечной энергии от летнего полушария к зимнему и относительное постоянство поступления в летний период (июнь для северного полушария, декабрь для южного полушария). В дни равноденствий график представляет плавную кривую изменения по косинусу зенитного угла.

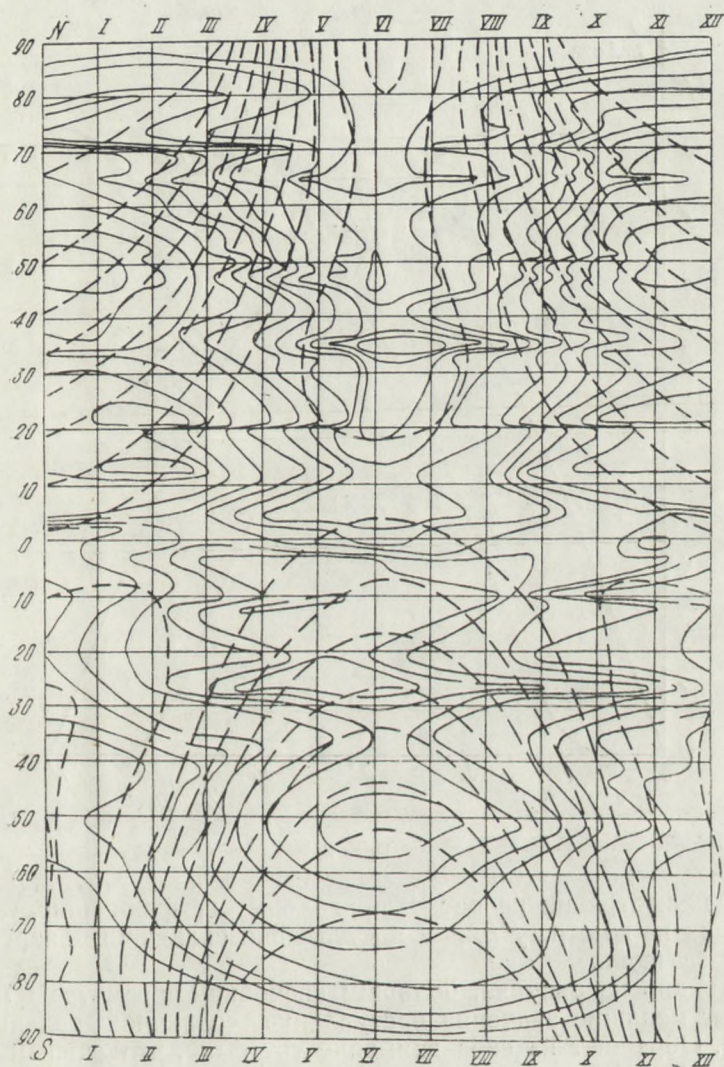


Рис. 1.

Аналогичное широтное распределение в дни равноденствий имеет параметр $f^\circ F2$, характеризующий приращение ионизации в слое $F2$ от утреннего минимума до полуденного максимума.

На основании аналогичности широтного распределения параметра $f^\circ F2$ и поступления солнечной энергии в атмосферу Земли в периоды равноденствий можно сделать вывод, что приращение ионизации в слое $F2$ пропорционально поступлению солнечной радиации в атмосферу. Однако, если провести это сопоставление для других ме-

сяцев года, то отмеченная пропорциональность нарушится. Особенно отчетливо можно видеть нарушение этой зависимости для дней солнцестояний.

В дни солнцестояний распределение приращения имеет противоположный характер распределению по широтам поступления солнечной энергии.

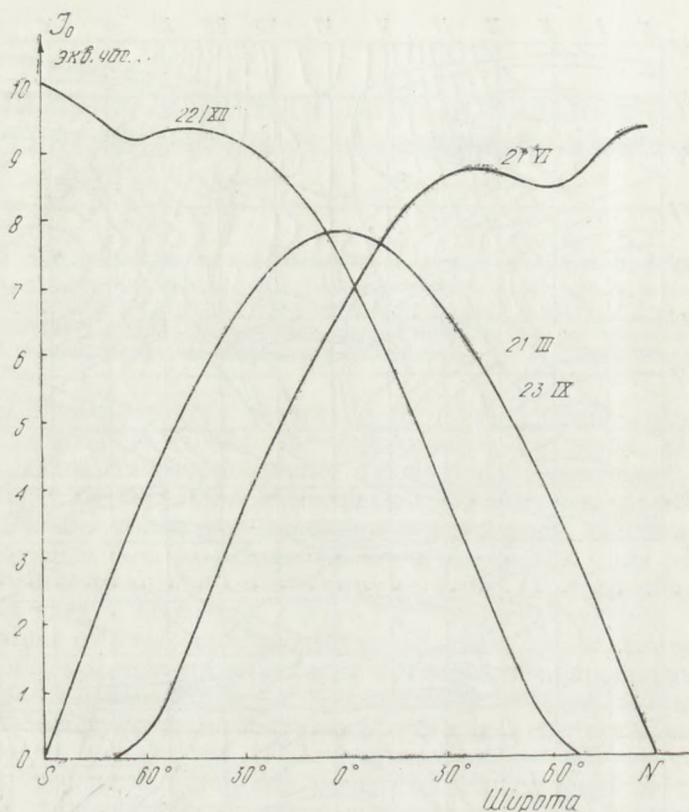


Рис. 2.

Для иллюстрации на рис. 3 приведены графики широтного распределения параметра $f^\circ F2\sim$ и поступления солнечной энергии в атмосферу за июнь.

Как видно из рисунка, большим значениям параметра $f^\circ F2\sim$ соответствуют меньшие значения поступления солнечной радиации в атмосферу. Обращает на себя внимание тот факт, что равным значениям параметра $f^\circ F2\sim$ на высоких и средних широтах соответствует равное значение поступления солнечной энергии на высоких и средних широтах. Широтному ограничению приращения ионизации, как было названо нами это явление, соответствует широтное постоянство поступления солнечной радиации в атмосферу Земли. Нарушения пропорциональности между поступлением солнечной радиации и приращением выявляет новую особенность проявления ультрафиолетовой радиации в ионизации атмосферы.

По существу явления ограничения приращения являются проявлением годовой аномалии критических частот слоя $F2$ в широтном разрезе.

Одной из возможных причин и, вероятно, основной в явлении ограничения следует считать температурные явления. Широтное явление ограничения приращения ставит необходимость учета этого явления в решении вопроса связи между Солнцем и ионосферой.

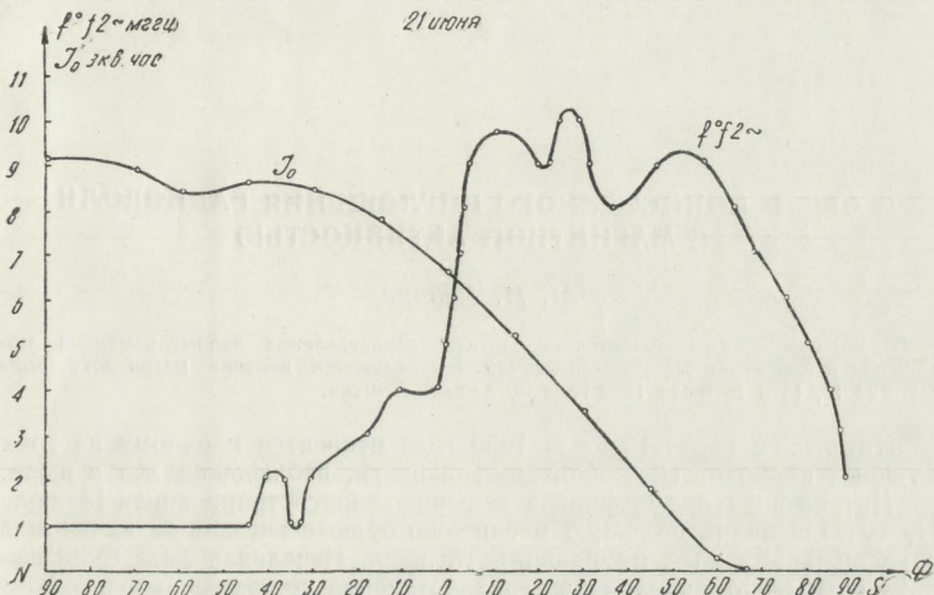


Рис. 3

Выводы

1. Приращение ионизации в слое $F2$ контролируется поступлением суммарно-суточной радиации в атмосферу.

2. В дни равноденствий изменение приращения по широте следует ходу широтного распределения поступления солнечной радиации.

3. В дни солнцестояний широтное распределение приращения не пропорционально распределению поступления по широтам солнечной радиации; приращение тем больше, чем меньше поступление солнечной радиации.

4. На широтное распределение приращения в периоды солнцестояний сильное влияние оказывает явление ограничения, проявляющееся при большом поступлении солнечной радиации в атмосферу.

5. Поскольку на значение приращения ионизации влияет явление ограничения, связанное с поступлением солнечной энергии, в уравнениях состояния ионизации слоя $F2$ следует учитывать кроме явления ослабления ионизации при изменении температуры также явление ограничения.

6. В решении проблемы связи Солнце—ионизация атмосферы нахождение прямой связи состояния ионизации слоя $F2$ с зенитным углом невозможно без учета изменения температуры и связанных с изменением ее явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Лихачев, Суточная освещенная составляющая ионизации слоя $F2$, Астр. журнал, т. 37, вып. 1, 1960.

2. А. И. Лихачев, Н. И. Потапова, Широтное распределение приращения ионизации слоя $F2$, Труды СФТИ, вып. 38, 1960.

О СВЯЗИ ИОНОСФЕРНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОВОЛН С МАГНИТНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

М. П. Рудина

В этом сообщении приводятся результаты сопоставления данных измерения поглощения и поведения H —горизонтальной составляющей вектора магнитного поля Земли за 14, 15 и 16 июля 1959 года по данным Томска.

Интервал с 14 по 16 июля 1959 года относится к одному из трех активных периодов солнечной деятельности, наблюдающихся в июле.

Интенсивная хромосферная вспышка, зарегистрированная 14 июля [1], вызвала очень большую магнитную бурю с внезапным началом в 14 часов (время $90^\circ E$ меридиана) 15 июля. Начальная фаза бури выразилась в резком увеличении горизонтальной составляющей на $200-250\gamma$ по отношению к нормальной величине H_0 (рис. 1).

Увеличение и очень большая подвижность H наблюдались до 21 часа 30 мин.; причем вследствие чрезвычайной подвижности значение H в этот период неоднократно возвращалось к нормальному значению и даже опускалась ниже его. В 21 час 30 мин. началась главная фаза магнитной бури. Горизонтальная составляющая скачком, в течении получаса, становится резко пониженной (примерно на 700γ) по отношению к нормальным значениям. Конец главной фазы бури, с 02 до 08 часов 16 июля, характеризуется быстрым ступенчатым ростом H , до значений, меньше нормальных на 140γ и довольно большой подвижностью.

Период после возмущения продолжался с 0,8 до 20 часов 16 июля и характеризовался медленным ростом H и пульсациями *).

Как показали измерения поглощения, днем 14 июля с 09 час. 30 мин. до 16 час. (время $90^\circ E$ меридиана) наблюдалось увеличенное поглощение (индекс „B“) на частотах**):

$$f_1 = (2,2 \pm 0,2) \text{ мггц} \text{ и } f_2 = 3,0 \pm 0,3 \text{ мггц} \text{ (рис. 2)}.$$

Ионограммы в этот же интервал отразили увеличение $f_{\min}$ до 4 мггц , размывание области F и появление E_s . Вечером и ночью состояние ионосферы было нормальным (поглощение не превышало 40 дб).

15 июля с 11 час. 30 мин. по 04 часа 30 мин. 16 июля поглощение вновь увеличилось. На рис. 2 увеличенное поглощение отмечено „B“.

С 06 час. отмечалось падение поглощения до 30 дб на частоте $f_1 = (2,2 \pm 0,2) \text{ мггц}$ и до 10 дб на частоте $f_2 = (3,0 \pm 0,3) \text{ мггц}$.

*) Магнитная буря описана А. Ф. Ковалевским.

**) „B“—соответствует коэффициенту поглощения больше, чем 60 дб . Нормальное полуденное значение поглощения $30-40 \text{ дб}$.

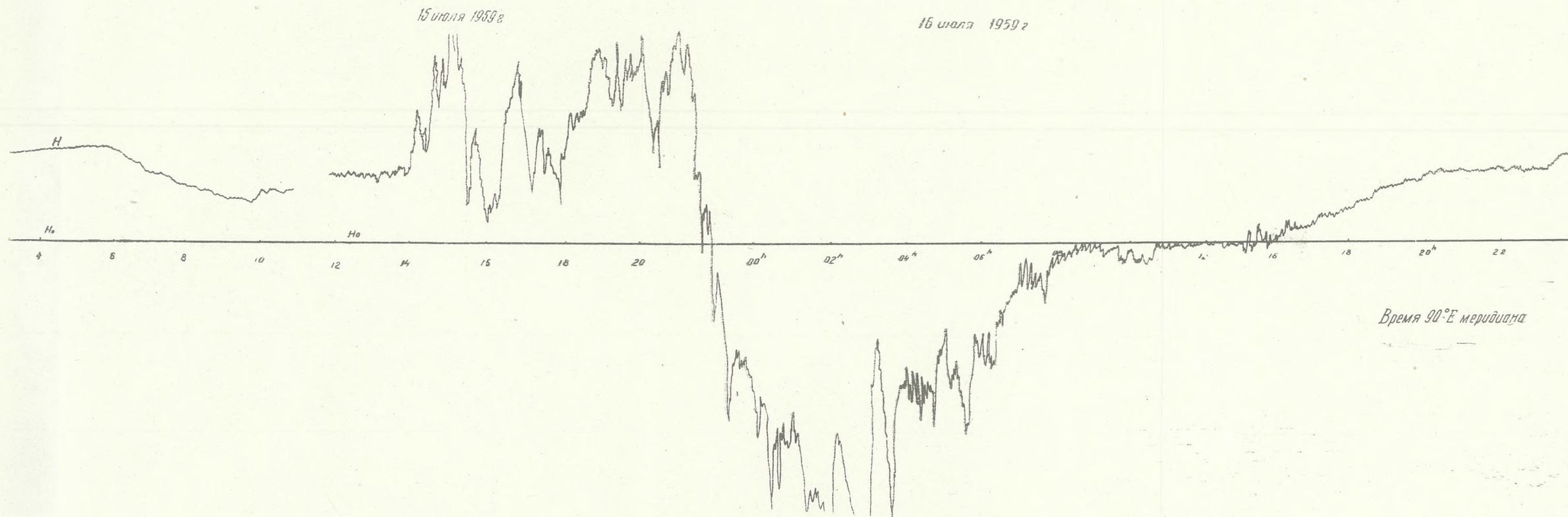


Рис. 1. Магнитограмма за 15—16 июля.

ТРУДЫ СИБИРСКОГО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
при Томском государственном университете имени В. В. Куйбышева

Вып. 41

1962

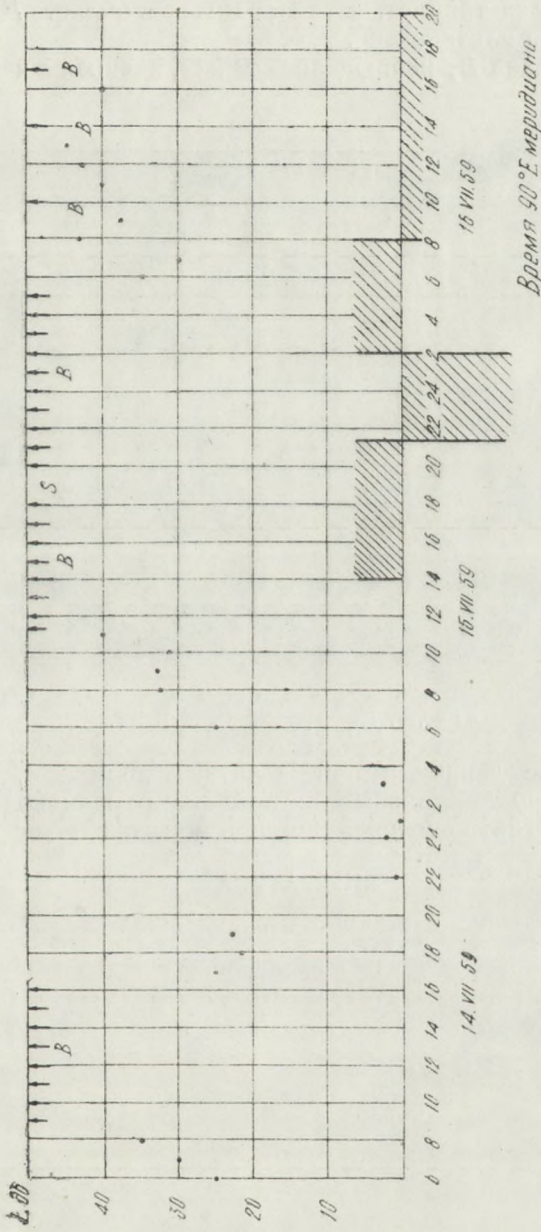


Рис. 2. Ход поглощения за 14, 15, 16 июля.

Ионограммы в период начальной фазы магнитной бури и увеличения H отображали увеличение $f_{\min}$ до 1,7 мГц, а с 20 часов (с момента начала головной фазы и падения H) начало ионосферного возмущения (появился триплет, затем размылась область F и образовался E_s с меняющейся плотностью).

В ряде случаев E_s наблюдалось также, начиная с частоты в 4 мГц (рис. 3).

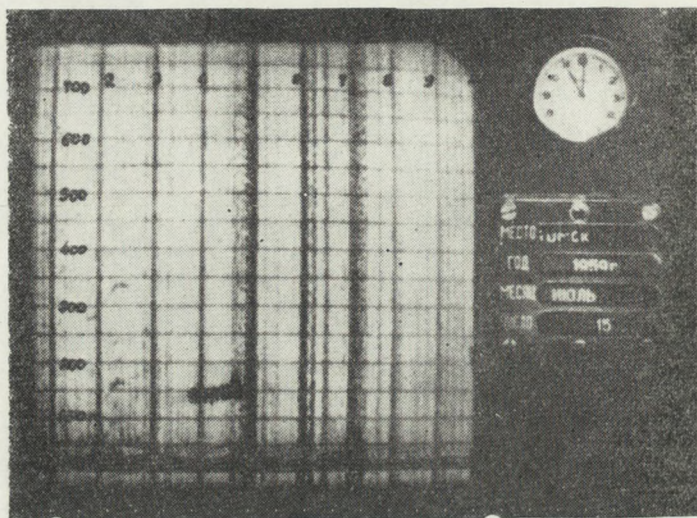


Рис. 3. Иonoграмма за 15 июля.

Приведенные данные могут являться примером, подтверждающим связь между аномальным поглощением радиоволн в ионосфере и состоянием магнитного поля Земли и верхней ионосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Космические данные (месячный обзор), июль, 1959.

ПОГЛОЩЕНИЕ РАДИОВОЛН В ИОНОСФЕРЕ И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

М. П. Рудина

Рассматривается изменчивость полуденного медианного значения коэффициента поглощения и суточная в связи с деятельностью Солнца.

Приводятся результаты корреляционного анализа.

I. Коэффициент поглощения $L(\delta\delta)$ в полдень

Измерение $L(\delta\delta)$ проводилось на двух частотах: $f_1 = (2,2 \pm 0,2)$ мГц и $f_2 = (3,0 \pm 0,3)$ мГц методом вертикального радиозондирования ионосферы.

Коэффициент поглощения оценивался по усредненной за 10—15-минутный интервал амплитуде сигнала первой кратности, возвращенного слоем E и „непоглощенной“ постоянной, выраженной в $\delta\delta$.

Постоянная определялась на этих же частотах в ночное время по коэффициенту отражения (ρ) по 15—30-минутной фотозаписи амплитуд сигналов первой и второй кратностей, отраженных слоем F_2 .

Для расчетов коэффициента поглощения в полдень использовалось среднемесячное значение постоянной, которая за указанный интервал наблюдений на частоте f_1 менялась от 73 до 80 $\delta\delta$.

Анализ результатов измерения показал, что полуденный коэффициент $L\delta\delta$, оцененный по двум сеансам измерений на каждой частоте, не был меньше 10 $\delta\delta$ и довольно часто не мог быть определен численно из-за высокого уровня помех и недостаточной мощности передатчика. В этих случаях поглощение оценивалось индексом „В“. В табл. 1 приведено распределение по числу случаев измерений за год, различных значений коэффициента поглощения, измеренного в полдень на двух частотах (по двум сеансам на каждой частоте).

Таблица 1

Коэффициент поглощения $L(\delta\delta)$	Годы	Частоты	10--20	20--30	30--40	40--50	50--60	„В“
Число случаев измерения данной величины $L(\delta\delta)$ за год	1958	f_1	20	40	262	68	11	145
		f_2	—	26	178	60	1	119
	1959	f_1	3	86	248	70	9	179
		f_2	91	189	79	10	—	9
	1960	f_1	—	34	147	60	—	91
		f_2	51	71	114	33	—	50

Как видно из табл. 1, коэффициент поглощения на частоте f_1 чаще всего бывает равен 30—40 дб и, очевидно, этими значениями можно будет характеризовать нормальное поглощение радиоволн в нижней ионосфере для Томска.

Коэффициент поглощения, измеренный на второй частоте, в большинстве случаев бывает меньше, чем на первой.

Индекс „В“, характеризующий повышенное поглощение, наблюдается довольно часто так же на первой частоте и в ряде случаев, как показывает анализ [1], совпадает с повышенной эффективностью ионизации Солнца.

Изменчивость полуденного значения коэффициента поглощения $L(\text{дб})$ на частоте f_1 (медиана за месяц) соответствует по характеру вариаций среднему за месяц относительному числу солнечных пятен W , что иллюстрируется на рис. 1, где приводится ход $L(\text{дб})$ (нижняя кривая) и W (верхняя кривая) за период с октября 1957 года по август 1960 года.

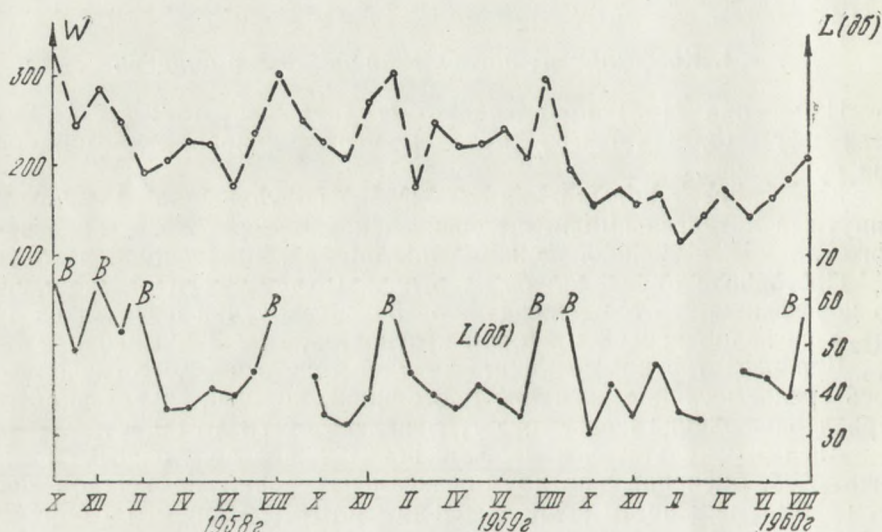


Рис. 1. Зависимость $L(\text{дб})$ и W от времени (октябрь 1957 — август 1960 гг.).

Однако, как видно из хода кривых, в феврале 1958 года и в сентябре 1959 года соответствие между ходом W и $L(\text{дб})$ нарушается, что связано возможно с возросшей эффективностью активных областей Солнца. Так, например, в феврале, несмотря на то, что солнечная активность понизилась (число солнечных пятен с 250 упало до 190), большое количество дней характеризовалось высокой хромосферной возбужденностью [2] и поглощение в эти периоды описывалось индексом „В“. То же самое отмечается и в сентябре 1959 года [3], когда число W упало с 300 до 200, но отмечались интенсивные хромосферные вспышки и поглощение часто было аномальным. Несоответствие хода W и L с февраля 1960 года совпадает с падением активности Солнца.

В работе [4] также указывалось на то, что изменение коэффициента поглощения, измеренного на 4 мГц, соответствует ходу относительного числа солнечных пятен.

Корреляционный анализ $\bar{L} = \varphi(W)$, проведенный нами для частоты 2,2 мггц, также подтверждает наличие соответствия между поглощением радиоволн в нижней ионосфере и пятнообразовательной деятельностью Солнца.

Так, например, в 1958 году коэффициент корреляции (рис. 2) равен единице. В 1959 году (рис. 3) коэффициент корреляции, при понижении уровня активности Солнца, не больше 0,6.

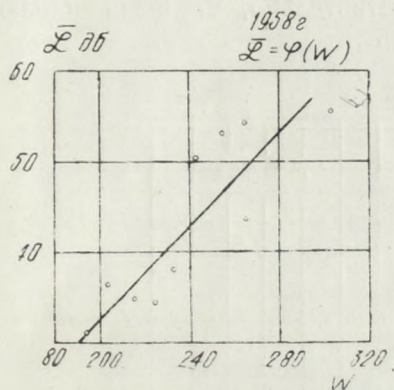


Рис. 2. $\bar{L}(\delta\delta) = \varphi(W)$ за 1958 г.

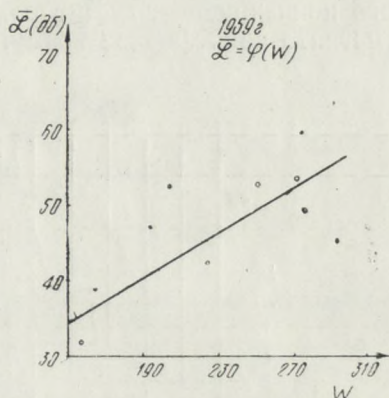


Рис. 3. $\bar{L}(\delta\delta) = \varphi(W)$ за 1959 г.

В 1960 году (рис. 4) с увеличением активности Солнца наблюдается рост коэффициента поглощения, но коэффициент корреляции падает до 0,3. Подобное соответствие в ходе $L(\delta\delta)$ и W может служить подтверждением тому, что ионизация нижней ионосферы (слой $\bar{D}$) в среднем обязана волновой радиации Солнца. Увеличенная ионизация в этой области (случаи В) совпадает с извержением хромосферы Солнца.

В эти периоды состояние и структура верхней ионосферы (область F) также значительно меняются. Область F расширяется и становится прозрачной, что способствует проникновению солнечной радиации на уровни слоя D. Очень часто в эти периоды наблюдается повышенная ионизация на уровнях слоев D и E, о чем свидетельствуют высокие $f_{\min}$ и предельные частоты E_s [5].

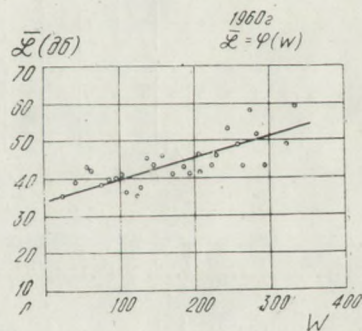


Рис. 4. $\bar{L}(\delta\delta) = \varphi(W)$ за 1960 г.

II. Коэффициент поглощения $L(\delta\delta)$ по РМД

Анализ суточного изменения коэффициента поглощения [1] показал, что по измерениям в РМД не всегда можно судить о характере среднесуточного хода поглощения за данный месяц. Для примера на рис. 5 приведены значения коэффициента поглощения за 16, 17 и 27 июля 1958 года.

Если 16 и 17 июля рост поглощения в утренние часы происходил быстрее, чем спад в послеполуденные, а в околополуденные часы наблюдалось наибольшее поглощение, то 27 июля подобного изменения $L(\delta\delta)$ не отмечалось.

В 12 час. 30 мин. наблюдалось наименьшее значение коэффициента поглощения, а в утренние часы поглощение было увеличенным.

Из дневного хода $L(\delta b)$ за 16 и 17 июля видно, что изменение поглощения грубо повторяет изменение зенитного расстояния Солнца $(\cos \alpha)^n$. В то же время изменение коэффициента поглощения, характерное для 27 июля, позволяет предполагать, что на поглощающую область ионосферы, кроме нормальной ультрафиолетовой радиации, оказывают влияние вспышки волновой радиации или возможно другого ионизирующего фактора. Действительно, 27 июля наблюдалось магнито-ионосферное возмущение.

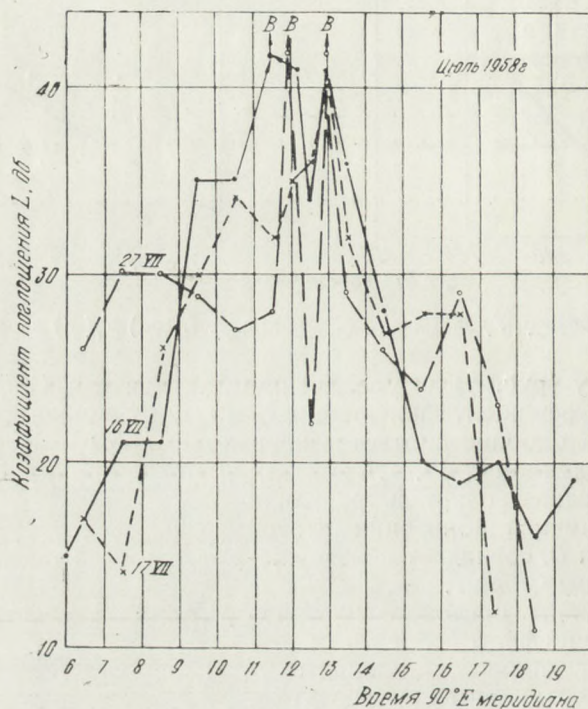


Рис. 5. Суточный ход за 16, 17 и 27 /VII 1958 г.

В работе [6] высказывалось предположение о корпускулярной природе слоя D . В то же самое время отмечалось, что на основе токовой теории ионосферы маловероятно, что слой D может иметь проводимость, достаточную для того, чтобы быть причиной магнитных вариаций.

Заключение

Приведенный экспериментальный материал показывает, что поглощение радиоволн в нижней ионосфере может быть:

- 1) нормальным, которое обязано средней волновой ионизации области D .
- 2) аномальным, обязанным, во-первых, кратковременным, но интенсивным вспышкам волновой радиации и, во-вторых, корпускулярному излучению.

Уточнение этого вопроса возможно из всестороннего подхода к изучению поглощения радиоволн в нижней ионосфере и из построения токовых систем;

3) корреляционный анализ показал, что к годам минимума деятельности Солнца связь между W и L (∂b) нарушается, поэтому измерения коэффициента поглощения в последующие годы и в год спокойного Солнца будут особенно ценны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Грохотова, Труды СФТИ, вып. 38, 1960.
2. Космические данные (месячный обзор), № 2, 1958.
3. Космические данные (месячный обзор), № 2, 1959.
4. Appleton EV, Piggot WR. Journal Atm. Terr. Phys., 5, 141, 1954.
5. М. П. Рудина, О связи коэффициента поглощения с магнитной активностью, печатается в данном сборнике.
6. Проблемы современной физики, „Распространение и ионосфера“, т. 12, 1952.

КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ ОТ СЛОЯ F2 (ρ) И ПАРАМЕТР β

М. П. Рудина

Приводятся результаты статистического анализа флуктуирующих сигналов, возвращенных слоем F2 в ночное время. Показывается наличие определенной связи между такими параметрами ионосферы, как коэффициент мутности β и коэффициент отражения ρ .

Статистический анализ флуктуаций отраженных ионосферой сигналов [1] позволяет считать, что энергия сигнала в точке наблюдения состоит из суммы энергий зеркально отраженной волны и рассеянных.

В реальных случайных процессах, которые регистрируются при исследовании ионосферного поглощения, в возвращенном сигнале невозможно разделить вклад, создаваемый отраженной волной, от вклада, создаваемого рассеянной волной. И только введением параметра β удастся косвенно оценить долю рассеянной энергии в сигнале, возвращенном ионосферой.

Так, например, в работе [2] показано, что для слоя F2 в ночное время в 50 % случаев наблюдается рассеянное отражение ($\beta < 1$). По наблюдениям в Томске [3] установлено, что примерно в 50% случаев измерений коэффициент отражения ρ превышает единицу.

Если считать, что флуктуации амплитуды сигналов первой и второй кратностей при оценке коэффициента отражения обусловлены структурными изменениями ионосферы в области формирования сигнала, то коэффициент отражения ρ должен меняться с изменением коэффициента мутности β ионосферы.

С целью выяснения возможной связи между коэффициентом мутности β и коэффициентом отражения ρ мы подвергли

статистическому анализу фотопленки с записью флуктуирующих сигналов первой и второй кратности на частоте $f_1 = (2,2 \pm 0,2) \text{ мГц}$.

Для 25 случаев были построены кривые вероятности распределения амплитуды сигналов как экспериментальные, так и теоретические.

Анализ показал, что независимо от величины ρ распределение амплитуд часто отличается от закона Релея. Кривые распределения име-

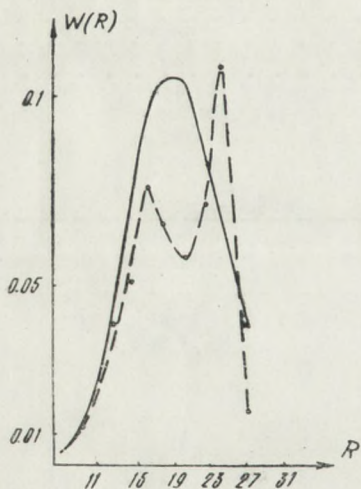


Рис. 1. Распределение амплитуды сигналов первого отражения. Пунктиром нанесена экспериментальная кривая.

ют два и более максимумов. На рис. 1 для иллюстрации приведены кривые распределения амплитуды первого отражения за 18 марта 1959 года. Пунктиром обозначена экспериментальная кривая.

Параметры β и ρ находились в обратной зависимости почти для всех 25 случаев.

На рис. 2 приводится пример изменения β и ρ в зависимости от высоты отражения также за 18 марта 1959 года. В этом случае фото-запись сигналов первой и второй кратностей проводилась непрерывно с 22 часов 30 минут до 02 часов 30 минут.

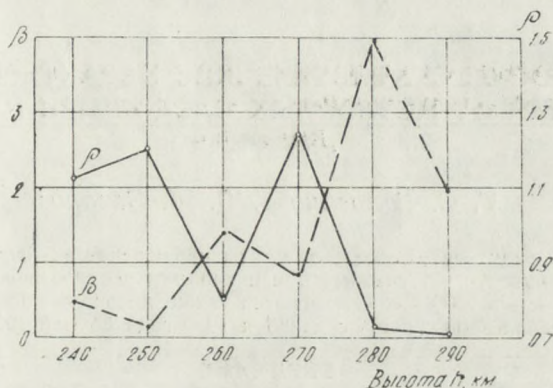


Рис. 2. Ход β и ρ в зависимости от высоты отражения.

Значения $\beta < 1$ соответствуют величинам $\rho > 1$, а $\beta > 1$ — коэффициенту отражения $\rho < 1$. Увеличение β является указанием к тому, что степень неоднородности слоя уменьшается, так как по структуре ионизированный слой приближается к идеальноотражающему.

Как видно на рис. 2, высота в этом случае увеличилась с 240 до 290 км.

Увеличение высоты сопровождалось падением градиента электронной плотности примерно в два раза, что должно было привести также к изменению отражающих свойств слоя.

На опыте, однако, оказалось (рис. 2), что коэффициент отражения ρ с ростом высоты отражения меняется неоднозначно.

Этот факт может также служить иллюстрацией к тому, что монотонный характер электронной плотности в области E часто нарушается. Причиной нарушений ионизации области E могут быть движения и наличие фактора ночной ионизации.

На формирование сигнала в ночное время может существенно влиять ионизация на уровне слоя E .

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. Л. Альперт, УФН, т. 49, вып. I, 1953.
2. Б. Л. Кашеев и др., Сборник статей, V раздел программы МГГ (ионосфера), № 1, 1959.
3. М. П. Рудина и Б. А. Грохотова, Отчеты по теме „Измерение поглощения радиоволн в ионосфере“ за 1959 и 1960 гг.

НЕКОТОРЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТРАЖЕНИЙ ОТ МЕТЕОРНЫХ СЛЕДОВ ПРИ РАССЕЯНИИ „ВПЕРЕД“

Т. С. Голованова, В. И. Бочаров

Приводятся экспериментальные результаты наблюдения за суточными вариациями метеорной активности, полученные при наклонном распространении радиоволн на трассе протяженностью 1600 км. Отмечаются также некоторые особенности сезонных изменений. Измерения проводились с декабря 1960 года по май 1961 года на частоте 46,5 мГц.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие большое внимание уделяется изучению распространения ультракоротких радиоволн за счет рассеяния в ионосфере. Одним из видов такого распространения является распространение за счет рассеяния на метеорных следах. Уже в 1950 году Мак-Кинли (Канада) указал на возможность использования этого явления для целей радиосвязи. В 1952 году в Канаде начались работы по практическому использованию его для осуществления прерывистой связи. Итогом этих исследований явилась разработка системы „джанет“. К этому же времени относятся исследования возможности связи, проводимые американскими исследователями.

Для оценки эффективности такой системы связи необходимо знание статистических характеристик отражений от метеорных следов. Сюда относятся данные о числе отражений в единицу времени, изменение этого числа в течение суток и от месяца к месяцу, распределение отражений по длительностям. Важной статистической характеристикой является коэффициент заполнения, определяемый как отношение суммарной длительности наблюдаемых отражений к полному времени наблюдения.

Настоящая статья посвящена в основном анализу результатов экспериментального исследования суточных вариаций метеорной активности. Приводятся также данные об изменении максимальных значений метеорной активности за декабрь 1960 по май 1961 годов.

Аппаратура и методика измерений

На приемном и передающем концах трассы использовались одинаковые четырехэтажные семиэлементные антенны типа волновой канал. Ширина диаграммы направленности антенны в горизонтальной плоскости составляла 48° на уровне 0,5 по мощности.

Главные направления излучения лежат в плоскости большого круга. Высота передающей антенны выбрана так, чтобы максимум перво-

го лепестка диаграммы направленности с учетом отражения от земли освещал над серединой трассы слой *E*. Высота приемной антенны выбрана такой, что два первых лепестка ее освещают слой *E*: один—нижнюю, другой—верхнюю области. Приемное устройство представляет собой конвертер с кварцованным гетеродином и коротковолновый приемник. Чувствительность приемного устройства при полосе 1 кГц была не хуже 0,05 мкВ. Регистрация метеорных всплесков велась на самопишущем миллиамперметре типа Н375, который подключался через усилитель—детектор к выходу промежуточной частоты приемника, и одновременно на амплитудном анализаторе импульсов. Скорость записи на самопишущем миллиамперметре составляла 5 мм/сек.

Работа проводилась 10-минутными сеансами каждый час в промежутке 00⁰⁰—19⁰⁰ часов. Было проведено около 1000 сеансов за декабрь 1960 года—апрель 1961 года. Число всплесков из записи на диаграммной ленте определялось как число положительных пересечений заданного уровня. Подсчет числа проводился на уровне, превышающем на 15 дБ уровень внешних шумов.

С амплитудного анализатора импульсов снимались непосредственно показания счетчиков, регистрирующих число пересечений заданного уровня за сеанс.

Обсуждение экспериментальных результатов

Теоретические соображения и экспериментальные данные по радиолокационному наблюдению за метеорами показывают, что за счет суточного вращения Земли, наклона ее оси и движения Земли вокруг Солнца должны наблюдаться заметные суточные и сезонные вариации. Очевидно, что при прерывистой системе связи скорость передачи информации целиком определяется числом метеорных вспышек в единицу времени. Следовательно, с этой точки зрения знание суточного хода метеорной активности является крайне важным. Не менее важным является оно для выяснения физической природы явления.

Результаты измерения относительного часового числа метеорных отражений, проведенных нами за декабрь 1960—май 1961 годов, представлены на рис. 1 (а), (б). По оси ординат отложены отноше-

ния $\frac{n - n_{\min}}{n_{\min}}$, где n —часовое число метеоров, $n_{\min}$ —минимальное зна-

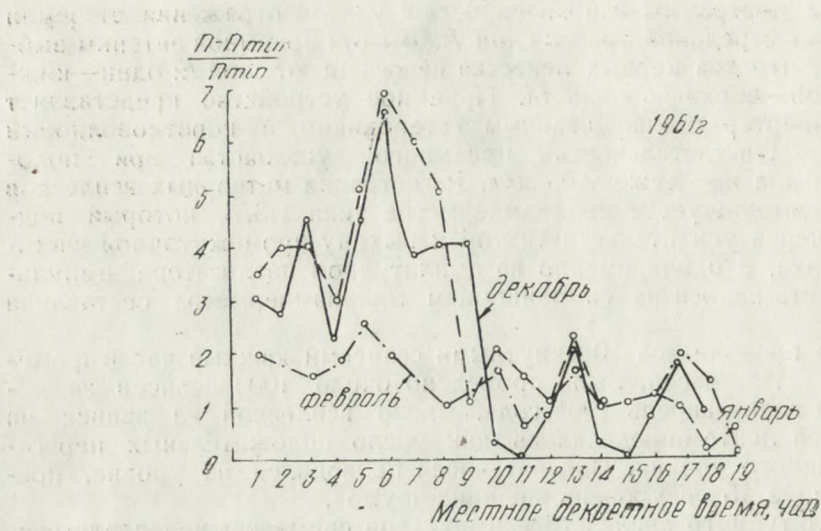
чение. На рисунках приведены среднемесячные значения относительного числа метеорных всплесков в минуту в различные часы суток, за исключением промежутка 19—24 часов, в которые измерения из-за помех телецентра оказались невозможными.

Как видно из приведенных графиков, наблюдается несколько максимумов числа метеорных вспышек.

1. Увеличение числа метеорных вспышек в 01—02 часа указывает на возможную концентрацию метеорных радиантов около противосолнечной точки.

2. Увеличение числа метеорных вспышек в 05—06 часов, вероятно, объясняется кульминацией апекса над горизонтом и вытекающим отсюда ростом числа метеорных вспышек за счет увеличения числа встречаемых и догоняемых Землей метеоров и концентрацией метеоров по направлению к апексу.

3. Максимум в 11—12 часов указывает на возможную концентрацию метеорных радиантов по направлению к Солнцу. День ото дня метеорная активность также изменяется.



a

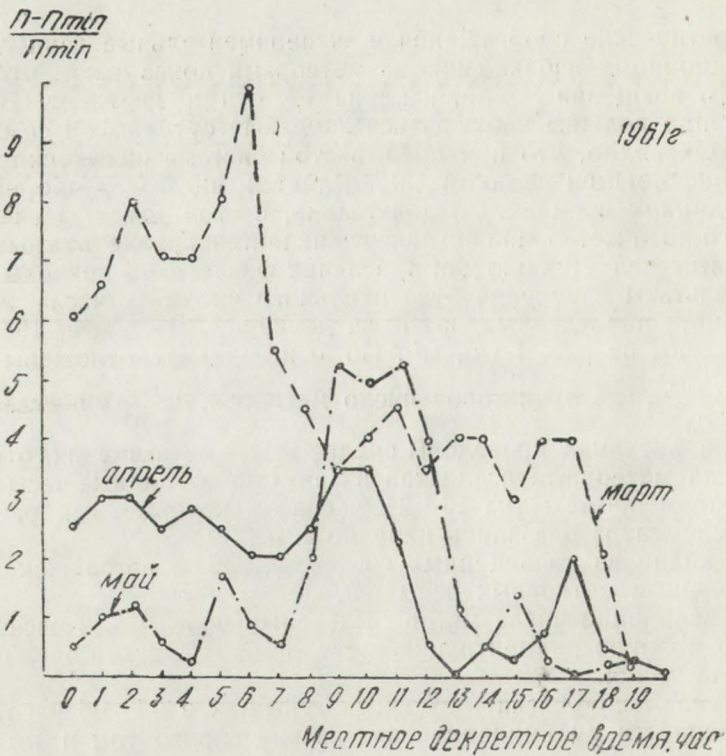


Рис. 1

Сравнение метеорной активности по месяцам указывает как на изменение метеорной активности от месяца к месяцу, так и на изменение ее суточного хода.

Так, в декабре, январе наибольшее число метеорных вспышек приходится на ночное время. Резко выражен максимум числа вспышек около времени кульминации апекса. Число метеорных вспышек около противосолнечной точки больше, чем около Солнца. В феврале, марте наблюдается понижение метеорной активности. Все три максимума выражены слабо.

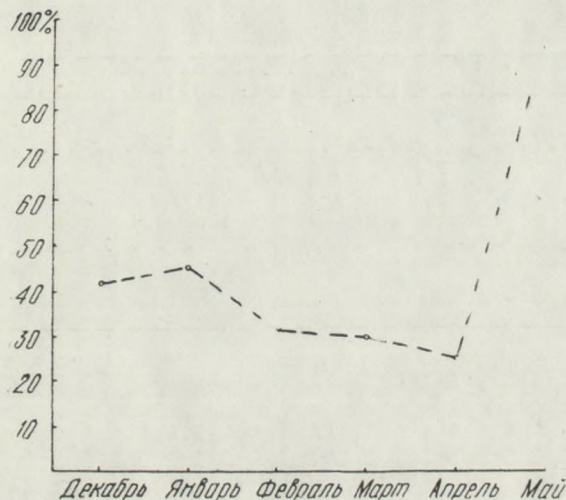


Рис. 2.

В апреле метеорная активность примерно такая же, но наблюдается возрастание числа метеорных вспышек в предполуденные часы. В мае наблюдается резкое возрастание метеорной активности за счет увеличения числа метеорных вспышек в предполуденное и полуденное время.

Для иллюстраций сказанного на рис. 2 приводится относительное изменение максимального часового числа метеорных всплесков, регистрируемых в разные месяцы. По оси ординат отложены значения максимального числа метеоров по отношению к максимальному значению в мае.

Заключение

Наблюдаемое нами в течение полугода изменение метеорной активности, сопровождающееся изменением суточного хода числа зарегистрированных метеорных вспышек, позволяет предполагать:

1) максимум в 05—06 часов обусловлен перемещением апекса по эклиптике. В течение года апекс кульминирует на различных высотах от $h=90-\varphi+\varepsilon$ — осенью, до $h=90-\varphi-\varepsilon$ — весной, где φ — широта места, ε — наклонение эклиптики к экватору. Поэтому весной в марте, апреле наблюдается наименьшее число зарегистрированных в 05—06 часов метеорных вспышек;

максимум полуденный в 11—12 часов, ясно выраженный в мае, вызывается пересечением Землей в мае орбит метеорных тел, движущихся по тем же направлениям вокруг Солнца, что и Земля.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Эшлеман, Миозонский, Направленные свойства метеорного распространения, установленные на основании радиолокационных наблюдений, „Дальняя радиосвязь на метровых волнах“.
2. Б. Л. Кашеев, Изучение численности метеоров МГГ, „Информационный бюллетень“, 1961.
3. П. Форсайт, Э. Воган и др., Принципы системы „Джанет“ связи за счет отражения от вспышек метеоров, сб. „Дальняя связь на метровых волнах“, 83—105.

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ ГЕОМАГНИТНЫХ ЭФФЕКТОВ КРУПНЫХ ВЗРЫВОВ

А. Ф. Ковалевский

Дан краткий обзор предложенных механизмов геомагнитных эффектов ядерных взрывов. На основании сходства эффектов ядерных взрывов и взрыва Тунгусского метеорита 1908 года высказывается предположение о сходстве механизмов даже у качественно различных взрывов. Предлагается следующий механизм геомагнитного эффекта ядерных взрывов. Сразу же после взрыва на площади радиусом 3—4 тыс. км возникает повышенная ионизация, что создает благоприятные возможности для распространения гидромагнитного импульса. Первая фаза возмущения вызывается этим импульсом. Вторая или главная фаза вызывается действием ударной волны. Понижение поля и последующее восстановление его связаны с перемещением токов относительно станций наблюдения и их постепенным затуханием.

В литературе нашли широкое освещение магнитные и ионосферные возмущения, наблюдавшиеся при ядерных взрывах в центральной части Тихого океана [1—15].

1 августа 1958 года сразу же после взрыва, произведенного США в 10 час 50 мин 05,6 сек гринвичского времени (местная ночь) на высоте 75,6 км [16] над атоллom Джонстон, на близлежащих магнитных обсерваториях Гонолулу, Пальмира, Фаннинг, Джарвиса и Апия наблюдались своеобразные магнитные возмущения с внезапным началом [1, 3, 8—13]. В Гонолулу возмущение в H имело вид отрицательной бухты, на остальных станциях они похожи на сторм-тайм вариацию бури необычно малой продолжительности. В Апия начальный импульс был типа SSC*. Рис. 1 дает представление об эффекте в Фаннинге. При взрыве 12 августа 1958 года, произведенном в том же районе в 10 час 30 мин 08,6 сек на высоте 42,3 км, общий ход возмущения такой же, что и 1 августа, но начальный импульс имел значительно (в несколько раз) меньшую величину, и начальная фаза длилась дольше.

В настоящее время предложено несколько вариантов механизма эффекта.

Все без исключения авторы относят эффекты в Апия за счет электронов, освобожденных при взрыве и захваченных магнитным полем [1,2—4,8—13,15]. Поскольку Апия находится вблизи от точки, магнитосопреженной по отношению к Джонстону, то такое объяснение представляется вполне приемлемым.

По мнению Мгеды [8, 9, 14], внезапное начало возмущения вызывается гидромагнитным импульсом, возникшим после взрыва и рас-

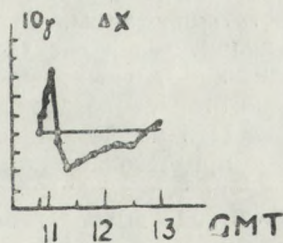


Рис. 1.

пространявшимся с большой скоростью. Главная фаза объясняется повышением проводимости ионосферы под действием радиоактивных продуктов взрыва [9]. Это привело к усилению тока, ответственного за ночную часть спокойных суточных вариаций.

По Лори, Жерару и Гиллу [12], начальная фаза связана с гидромагнитным импульсом, вызванным разбрасыванием вещества при взрыве. Освободившиеся при взрыве бета-частицы, фотоэлектрические и комптоновские электроны движутся к сопряженной точке. По мере движения ударной волны и огненного шара вверх, а также распада нейтронов область транспортировки расширяется, а в слоях E и F , в области возросшей ионизации, возникают динамотоки. Главная фаза возмущения связана с индукцией электрических токов в горизонтально расширяющемся облаке газа под действием вертикальной составляющей геомагнитного поля. Заключительная фаза связана с развитием противоположного тока при достижении облаком сопряженной точки в южном полушарии, в котором Z имеет другой знак.

По мнению Мацушита [10, 11], давшего детальный анализ всего фактического материала, сразу же вслед за взрывом в ближайшей окрестности атолла образовался круговой электрический ток, текущий против часовой стрелки и вызванный динамоэффектом благодаря „ветру“ заряженных частиц, двигавшихся радиально от точки взрыва в поле вертикальной составляющей геомагнитного поля. Если скорость ветра была 100 м/сек , а проводимость среды, благодаря воздействию частиц высокой энергии и рентгеновского излучения взрыва, возросла в 10 раз, то возникающий ток достаточен, чтобы объяснить наблюдавшиеся магнитные вариации даже на расстояниях $1300\text{—}2200 \text{ км}$. Этот ток вызвал начальный импульс в магнитном поле. Максимум возмущения наступил после прибытия в соответствующий пункт ударной волны взрыва, которая вызвала дополнительный динамоэффект и усилила ток, а также расширила его на большую площадь.

Мак-Ниш для объяснения наблюдавшихся вариаций привлекает токовый слой, простирающийся за наиболее удаленную станцию Джарвис [13]. Ионизация на этой площади возникает за счет рассеянного гамма-излучения взрыва, а электродвижущие силы объясняются с позиций классической теории Стюарта—Шустера. Иначе говоря, здесь имеет место тот же эффект, что и при солнечной вспышке, когда уже имеющаяся токовая система усиливается внезапным увеличением ионизации на ограниченной площади. За счет радиоактивного излучения остатков бомбы, поднявшихся на значительную высоту, ионизация усиливается и наступает главная фаза возмущения. Падение поля ниже нормальных значений Мак-Ниш относит к перераспределению электрического заряда в экваториальной плоскости.

При разработке механизма геомагнитных эффектов ядерных взрывов представляет интерес выяснение влияния на магнитное поле очень крупных неядерных взрывов. Взрыв Тунгусского метеорита 30 июня 1908 года вызвал геомагнитный эффект [17, 18, 19], имеющий много общих черт с эффектами ядерных взрывов (рис. 2). В обоих случаях возмущения имеют внезапное начало, сравнимую длительность (для метеорита 4—5 часов, для бомб около 1 часа), локальный характер (площадь радиусом не более $2500\text{—}4000 \text{ км}$), сравнимые амплитуды. Очень похож также и общий ход возмущений. Наиболее существенное различие между эффектами то, что в случае ядерных взрывов внезапный импульс отмечен одновременно на всех станциях и сразу же после взрыва. В случае же эффекта метеорита наблюдается запаздывание магнитного возмущения на $2,8 \text{ мин}$ (как показано в [20],

запаздывание даже больше, вероятно, на 3,5 мин) по сравнению с моментом взрыва.

Сходство эффектов ядерных взрывов и взрыва Тунгусского метеорита вряд ли случайно позволяет высказать предположение, что механизм эффекта даже у качественно различных взрывов имеет общие черты. Общим для всех взрывов является наличие ударной волны, которой и должна принадлежать определяющая роль в создании эффекта. С учетом сказанного, для ядерных взрывов представляется возможной следующая схема.

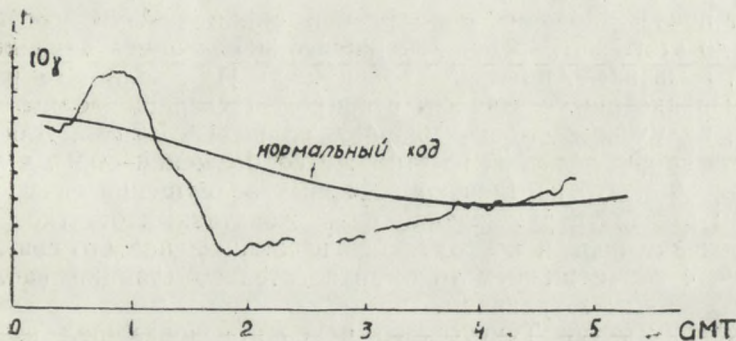


Рис. 2

Сразу же после взрыва на огромной площади радиусом 3—4 тыс. км. создалось мгновенное повышение ионизации. Ионизация может быть обусловлена, например, образованием комптоновских и фотоэлектрических электронов, рассеянным гамма-излучением, рентгеновским излучением, а также распадом нейтронов, выделившихся при взрыве.

Возникновение ионизации на большой площади подтверждается резким возрастанием минимальных отраженных частот на ионосферной станции в Мауи (Гавайские о-ва) через 20—30 сек после взрыва [6, 10], а также нарушениями радиосвязи на трассах Гонолулу—Хирайзо (Япония) и Сан-Франциско—Хирайзо, начавшимися сразу после взрыва [5, 6]. Линия Сан-Франциско—Хирайзо отстоит от атолла не ближе, чем на 3600 км.

В результате повышенной ионизации создались благоприятные условия для распространения гидромагнитных волн. По расчетам Деслера, скорость гидромагнитных волн в верхней атмосфере равна 300—1000 км/сек [21]. Гидромагнитный импульс большой скорости и вызвал внезапное начало возмущения магнитного поля, очень близко совпадающее со временем взрыва. Маеда обнаружил приход возмущений в Шимозато и Онагава (Япония) со скоростью 540 м/сек [14]. Во время экспериментов „Аргус“ также обнаружены возмущения магнитного поля, распространявшиеся со скоростями даже большими, чем вычисленные Десслером [21, 22, 23].

Отметим, что, как указал Мак-Ниш [13], объяснение начальной фазы токами, образовавшимися в непосредственной окрестности атолла Джонстон, несостоятельно, так как в этом случае амплитуда возмущений должна была бы убывать по кубическому закону, чего в действительности не наблюдается.

Представляется сомнительным и объяснение, отождествляющее первую фазу с эффектом солнечной вспышки. Как известно, при сол-

нечной вспышке не создается своя особая токовая система, а усиливается уже существующая [24]. Но джонстонские взрывы произведены местной ночью, когда направление токов противоположно тому, которое требуется для объяснения эффектов.

Вторая, или главная фаза возмущений вызывается сильными движениями уже имеющегося ионизованного газа над действием ударной волны. При движениях возникли сильные динамотоки, установлению которых и соответствует максимум фазы. Говорить о радиусе площади, обтекаемой током в главную фазу, трудно, так как неизвестны путь распространения ударной волны и ее скорость. 1 августа спустя 13 минут после взрыва на ионосферной станции Мауи уменьшилось сильное до этого поглощение, появились меняющиеся наклонные отражения, вызванные, по мнению Мацусита [11], волновым распространением ионизации, связанным с приходом ударной волны. Исходя из этого, получена скорость ударной волны $1,3 \text{ км/сек}$. Для взрыва 12 августа скорость волны из этих же соображений— $0,9 \text{ км/сек}$. Однако возможно, что картина ионосферных возмущений связана с воздействием распада перемещающихся радиоактивных остатков бомб.

Понижение поля и последующее восстановление его связаны, по-видимому, с перемещением токов относительно станций наблюдения и их постепенным затуханием.

Поскольку взрыв Тунгусского метеорита произошел на высоте, где естественная ионизация практически отсутствует ($11\text{--}12 \text{ км}$ [20]), то гидромагнитный импульс мог возникнуть лишь после достижения ударной волной области E ионосферы. Этим и объясняется запаздывание магнитного эффекта по отношению к моменту взрыва. Дальнейшие изменения магнитного поля объясняются точно так же, как и в случае ядерных взрывов.

По последним оценкам, энергия взрыва метеорита составляла $10^{23}\text{--}10^{24} \text{ эрг}$, что, по-видимому, в несколько раз больше энергии взрывов 1 и 12 августа. Большая энергия ударной волны при тунгусском взрыве подтверждается также и мощными звуковыми явлениями. Этим, вероятно, и объясняется несколько большая амплитуда и значительная длительность магнитного эффекта 1908 года.

Мейсон и Витоусек описали магнитные возмущения, наблюдавшиеся на станциях Пальмира, Фаннинга и Джарвиса при английских ядерных испытаниях 28 апреля 1958 года в районе о. Рождества [25]. Возмущения по форме напоминают эффекты при взрывах над атолом Джонстон. Однако явные возмущения в H отсутствуют. Отсутствует также начальная фаза, поэтому эффект запаздывает на $8\text{--}10$ минут. Амплитуда возмущений составляла в Фаннинге (340 км от о. Рождества) 57γ , в Джарвисе (380 км)— 19γ , Пальмире (705 км)— 10γ . В первом приближении амплитуда возмущений убывает обратно пропорционально кубу расстояния (для Джарвиса не выполняется) и в Гонолулу и Апия, отстоящих от места испытаний в три раза дальше Пальмиры, они уже не отмечены. Высота взрыва менее 20 км , мощность, предположительно, ниже мегатонного диапазона.

Если убывание амплитуды по кубическому закону реально, то это указывает, что возмущение было вызвано токами, протекающими в слое небольшой площади над местом испытаний.

Маеда, изучая магнитный эффект ядерных взрывов, рассмотрел материалы, находящиеся в МЦД S_2 , и пришел к заключению, что наземные взрывы никакого воздействия на геомагнитное поле не оказывают [8, 9]. Это указывает на то, что при малой высоте взрыва энергия ударной волны диссипируется раньше, нежели она достигнет

требуемой высоты (разумеется, речь идет не о полном исчезновении ударной волны, а об уменьшении ее энергии ниже определенного предела).

В данном случае можно ожидать, что мгновенное излучение взрыва вследствие малой высоты полностью поглотилось в небольшом объеме атмосферы, окружающем точку взрыва. При подъеме радиоактивных остатков взрыва на значительную высоту небольшая область над местом испытаний сильно ионизировалась. Ударная волна, значительно более слабая, чем при взрывах над Джонстоном, вызвала движения в этой области. Малая энергия ударной волны обусловила слабый, долго устанавливавшийся ток, чем и объясняется большое запаздывание эффекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. L. Cullington, *Nature*, Vol. 182, No 4646, p. 1365, 1958.
2. P. H. Fowler, C. J. Waddington, *Nature*, Vol. 182, No 4651, p. 1728, 1958.
3. P. J. Kellog, E. P. Ney, J. R. Winkler, *Nature*, Vol. 183, No 4658, p. 358, 1959.
4. H. Elliot, J. J. Quenby, *Nature*, Vol. 183, No 4664, p. 810, 1959.
5. T. Obayashi, S. C. Coroniti and E. T. Pierce, *Nature*, Vol. 183, No 6473, p. 1477, 1959.
6. H. Ueda, S. Ishikawa, *J. Geomagn. and Geoelectr.*, Vol. II, No 2, p. 54, 1959.
7. C. H. Cumma, G. A. King, *Nature*, Vol. 184, No 4688, p. 32, 1959.
8. H. Maeda, *J. Geoph. Res.*, Vol. 64, No 7, 1959.
9. H. Maeda, *J. Geomagn. and Geoelectr.*, Vol. II, No 2, p. 42, 1959.
10. S. Matsushita, *Nature*, Vol. 184, No 4688, p. 33, 1959.
11. S. Matsushita, *J. Geoph. Res.*, Vol. 64, No 9, 1959.
12. J. A. Lawrie, V. B. Gerard, P. J. Gill, *Nature*, Vol. 184, No 4688, 1959.
13. A. G. McNish, *J. Geoph. Res.*, Vol. 64, No 12, 1959.
14. H. Maeda, T. Ondon, *Nature*, Vol. 188, No 4755, p. 1018, 1960.
15. J. M. Malville, *J. Geoph. Res.*, Vol. 64, No 12, 1959.
16. D. T. Griggs, *J. Geoph. Res.*, Vol. 66, No 1, 1961.
17. Г. Ф. Плеханов, А. Ф. Ковалевский, В. К. Журавлев, Н. В. Васильев, *Изв. вузов, "Физика"*, № 2, 1960.
18. Г. Ф. Плеханов, А. Ф. Ковалевский, В. К. Журавлев, Н. В. Васильев, *"Геология и геофизика"*, № 6, 1961.
19. К. Г. Иванов, *Метеоритика*, вып. 21, 1961.
20. А. Ф. Ковалевский, Сб. статей "Проблема Тунгусского метеорита", В печати.
21. Ф. Ньюман, А. М. Петерсон, Сб. статей "Операция Аргус", 1960.
22. N. K. Berthold, A. K. Harris, H. J. Hope, *J. Geoph. Res.*, Vol. 65, No 8, 1960.
23. H. A. Bomke, W. J. Ramm, S. Goldblatt, V. Klemas, *Nature*, Vol. 185, No 4709, p. 299, 1960.
24. A. G. McNish, *Terr. Magn. and Atmosph. Electr.*, Vol. 42, No 2, 1937.
25. R. G. Maison, M. J. Vitousek, *Nature*, Vol. 184, No 4688, 1959.

ТРУДЫ СИБИРСКОГО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

при Томском государственном университете имени В. В. Куйбышева

Вып. 41

1962

СКОРОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕЙФА В ОБЛАСТИ F И ЧИСЛО СТОЛКНОВЕНИЙ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ

М. П. Рудина и Б. А. Грохотова

Приведены результаты анализа фотозаписи флуктуирующих сигналов первой и второй кратности, возвращенных слоем F_2 при вертикальном радиозондировании ионосферы в период февраля и марта 1958 года.

1. Коэффициент отражения (ρ)

Явление вечернего максимума ионизации области F ионосферы мало исследовано и существующая гипотеза его появления на данном этапе исследований ионосферы точно не доказана.

В литературе [1, 2, 3] есть указания также на то, что в это время часто наблюдается явление появления значений коэффициента отражения, превышающих единицу. С целью выяснения природы этих явлений мы провели ежедневные измерения амплитуды сигналов первой и второй кратности на частотах от 2,5 до 3,5 мГц в интервале времени наблюдения вечернего максимума ионизации, анализа фотозаписи амплитуды сигнала, а также ионограмм.

В результате измерений были получены фотозаписи флуктуирующих сигналов, отраженных от F слоя за 5, 7, 10, 18, 20, 22, 23 и 27 февраля и за 6, 8, 11, 16, 18, 19, 25, 26, 27, 29 и 30 марта.

Данные измерения $h_0 f^o F_2$ и ρ , усредненные за указанные дни февраля и марта, приведены на рис. 1 (а, в).

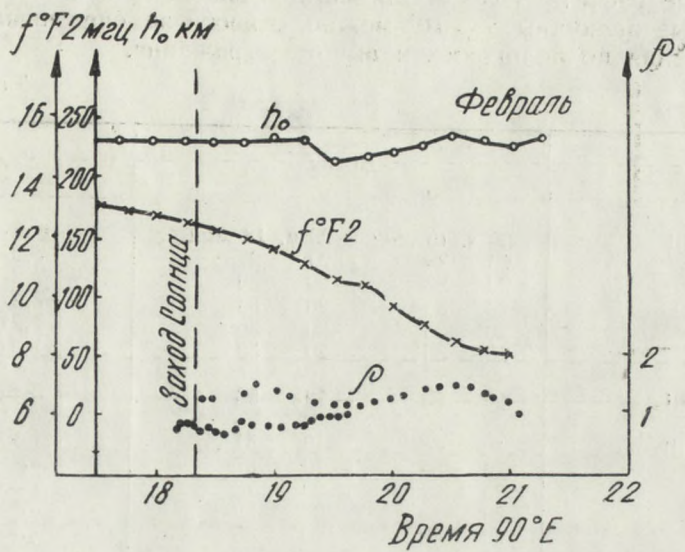
При усреднении за февраль данные за 20 февраля не учитывались (ионосферная буря). Значения $\rho > 1$ и $\rho \leq 1$ усреднялись отдельно.

По усредненным данным наблюдался разброс значений коэффициента отражения от 0,7 до 1,5. Значения $\rho > 1$, через час после захода Солнца, изменялись в феврале так же, как минимальная высота отражения h_0 .

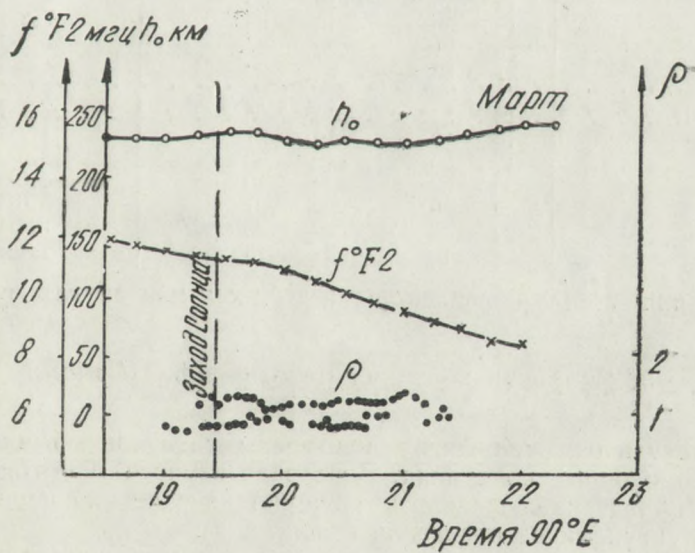
В марте значения коэффициента отражения колеблются в пределах 0,7—1,35 и если в феврале после 19 час. 30 мин. наблюдались только величины $\rho > 1$ то в марте $\rho > 1$ и $\rho \leq 1$ регистрировались почти в равных количествах.

2. Число столкновений

Возможность оценки поглощения в рассматриваемые периоды позволила нам рассчитать с помощью ионограмм число столкновений сек^{-1} при условиях предположения, что на применяемых частотах необыкновенная компонента поглощается.



a



b

Рис. 1 (a, б). Поведение $f^\circ F2, h_0$ и ρ за февраль и март.

Данные расчета γ сек⁻¹ для марта приведены в табл. 1. Полученные величины $\gamma = 10^4$ можно отнести за счет низкой точности измерения по ионограммам высоты отражения.

Таблица 1

Дата	Время				γ сек ⁻¹
6/III	20 ч. 15 мин. — 20 ч. 18 мин.				1,8 · 10 ⁴
	20	24	— 20	27	7,2 · 10 ³
	20	27	— 20	30	7,2 · 10 ³
	20	30	— 20	33	7,2 · 10 ³
	20	33	— 20	36	7,2 · 10 ³
	20	36	— 20	39	1,2 · 10 ³
8/III	19	55	— 19	58	3,6 · 10 ³
16/III	19	48	— 19	51	1,6 · 10 ⁴
	19	54	— 19	57	3,6 · 10 ⁴
	20	25	— 20	18	7,2 · 10 ³
	20	33	— 20	36	3,6 · 10 ³
	20	42	— 20	45	7,2 · 10 ³
18/III	18	57	— 19	00	3,6 · 10 ³
	19	05	— 19	08	1,8 · 10 ⁴
	19	21	— 19	24	8 · 10 ³
25/III	19	31	— 19	34	3 · 10 ⁴
	19	34	— 19	37	3,6 · 10 ³
	19	52	— 19	55	3,6 · 10 ³
27/III	19	25	— 19	28	1,8 · 10 ⁴
	19	34	— 19	37	3,6 · 10 ³
	19	43	— 19	46	7,2 · 10 ³
	19	50	— 19	53	7,2 · 10 ³
	20	21	— 20	24	3,9 · 10 ³
	21	22	— 21	25	1,2 · 10 ³
29/III	18	57	— 19	00	7,2 · 10 ³
	19	18	— 19	21	1,2 · 10 ⁴
	19	30	— 19	33	3,6 · 10 ³
	20	07	— 20	10	3,6 · 10 ³
	20	19	— 20	21	3,6 · 10 ³
	20	43	— 20	46	2,9 · 10 ³
	21	13	— 21	16	1,4 · 10 ³

Значения γ получились порядка 10³, как и в других опытах.

3. Скорости вертикального дрейфа V м/сек

Амплитуда отраженных от ионосферы сигналов обычно испытывает беспорядочные колебания. В феврале и марте 1958 года в вечерние часы иногда наблюдались квазипериодические или периодические записи флуктуирующего сигнала (рис. 2а, в).

Основываясь на доплеровском эффекте, мы оценили вертикальную составляющую скорости ионосферного дрейфа V м/сек по первому и второму отражениям.

Строго периодические колебания амплитуды отраженных импульсов имели место 22, 27 февраля и 8, 11, 18, 29 и 30 марта.

Данные расчета скорости перемещения за указанные дни приведены в табл. 2.

Обсуждение экспериментальных данных

Результаты измерения коэффициента отражения в период после захода Солнца, приведенные нами, показали, что примерно в 50 % случаев наблюдения регистрируют значения ρ , превышающие единицу. Как в феврале, так и в марте вечерний пик ионизации области F проявляется слабо. На рис. 1 (а, в) он отмечается в виде постоянства критической частоты вместо падения и незначительного падения минимальной высоты отражения.

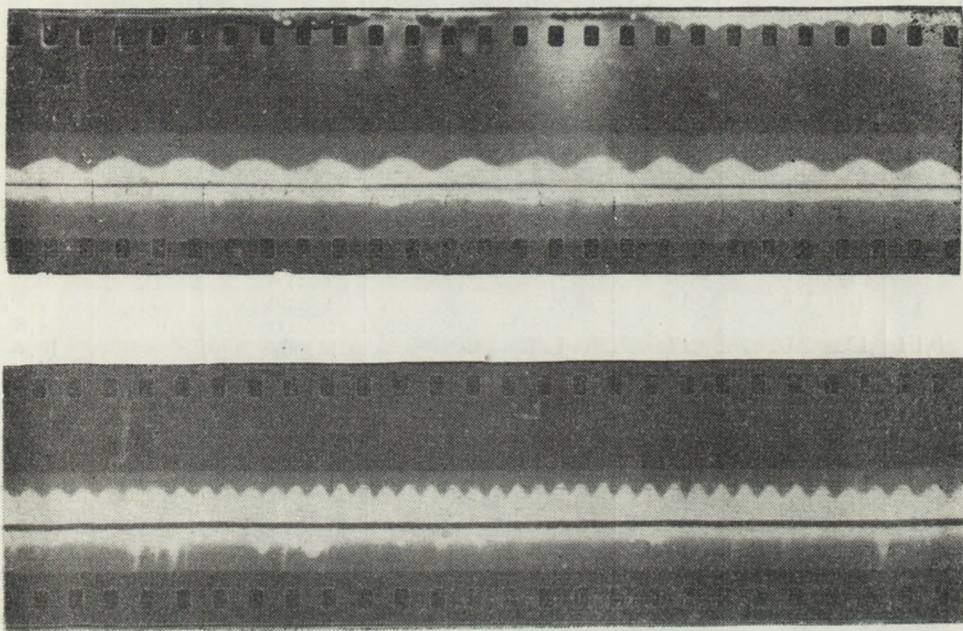


Рис. 2 (а, в). Пример синусоидального изменения сигналов.

Периодические колебания амплитуд отраженных сигналов, как было замечено, по времени появления совпадают иногда с падением высоты нижней границы.

Возможно, что появление периодических колебаний амплитуд отраженных импульсов в вечернее время связано с вертикальным перемещением верхних слоев атмосферы (опусканием) вследствие сжатия при охлаждении. Падение высоты нижней границы отражения в эти периоды подтверждает это предположение.

Мы полагаем, что периодические колебания амплитуды отраженного сигнала в вечернее время могут служить подтверждением тепловой гипотезы, а именно: что на изменение высоты нижней границы отражения в вечерние часы вертикальное перемещение газа влияет больше, вследствие изменения теплового режима, чем эффект рекомбинации.

Скорости перемещения, приведенные в табл. 2, не противоречат этому предположению.

Движение массы газа приводит, вероятно, к образованию неоднородностей ионизации, обуславливающих фокусировку и рассеяние энергии, а значит и к наблюдению коэффициента $\rho > 1$.

Таблица 2

Дата	Время	T , в сек	V , в м сек	Дата	Время	T , в сек	V , в м сек
22/II	19 ч 05 мин	12	4,2	18/III	20 ч 48 мин	30	1,4
	19 14	6,6	7,5		20 50	18	2,4
	19 15	5,2	9,2		20 52	15	2,8
	19 16	4,8	10,4		20 54	13,5	3,2
	19 17	3,3	15,1		20 56	12	3,6
	19 18	3	17		20 58	10,5	4,1
27/II	20 23	6	8,3	29/III	20 41	9	5,6
	20 24	6	8,3		20 42	24	2,1
	20 26	16	2,9		20 43	18	2,8
	20 32	7,2	2,4		20 44	15	3,3
	20 38	5,4	3,2		20 45	13,5	3,8
	20 40	6,0	2,9		20 46	18	2,8
	20 43	3,9	4,4		20 47	16,5	3
	20 53	5,3	9,5		20 49	25,5	2
	20 54	3,7	10,4		20 52	19,5	2,6
	20 55	6	8,3		20 54	13,5	3,8
	20 56	3,5	10,6		20 57	9	5,6
	21 03	15	3,3		20 58	8,4	6
	21 05	12	4,2		20 59	7,5	6,7
8/III	19 23	12	5		21 00	10,5	4,8
	19 41	6	10		21 07	3	16,7
11/III	20 34	28,5	1,5	30/III	20 41	9	5,6
	20 49	27	1,7		20 42	24	2,1
	20 51	28,5	1,5		20 43	18	2,8
	21 02	15	2,8		20 44	15	3,3
	21 03	13,5	3,2		20 45	12	4,2
	21 04	15	2,8		20 46	18	2,8
	21 05	13,5	3,2		20 48	28,5	1,7
	21 07	11,5	3,7		20 49	25,5	2
18/III	20 10	10,5	4,1		20 52	19,5	2,6
	20 11	15	2,8		20 54	43,5	3,8
	20 18	15	2,8		20 55	12	4,2
	20 38	22,5	2		20 56	9	5,6

Выводы

Изучение изменения коэффициента отражения от слоя $F2$ в период вечернего увеличения ионизации затруднено из-за статистического характера ионосферы и сложности протекающих в ней процессов. Запись сигналов проводилась без выделения одной из компонент магнитоионного расщепления, но, как показано в работе [5], на частотах до $3,0$ мГц наблюдается один вид поляризации. Анализ проведенных экспериментальных данных показал, что:

1) около 50 % значений коэффициента отражения относятся к $\rho > 1$;
2) значения $\rho > 1$ не могут характеризовать степень поглощения радиоволн в ионосфере, но могут являться характеристикой дифракции на неоднородностях в ионизации областей E и F [4], где формируется возвращенный сигнал;

3) появление периодических колебаний величины сигнала в периоды роста ионизации, когда освещенность ионосферы падает, является более чувствительным индикатором существования вертикальных движений по сравнению с изменением h_o и может использоваться

для расчета скорости вертикального дрейфа. Летом, когда пик ионизации четко выражен, повторить аналогичные опыты не удалось из-за большой ионизации в области E ;

4) частота столкновений в F слое, определенная по данным измерения коэффициента отражения и ионограммам, совпадает с известными ранее.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Д. Гусев, Изв. АН СССР, серия физическая, т. II, № 2, 1947.
 2. М. П. Рудина и Г. Г. Кошкина, Труды СФТИ, вып. 37, 1959.
 3. Ширмамедов, Труды СФТИ, вып. 37, 1959.
 4. М. П. Рудина, Коэффициент отражения ρ и параметр β (печатается в данном выпуске).
 5. В. И. Таран, Автореферат диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-мат. наук, 1961.
-

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ СНЯТИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН С ПОМОЩЬЮ ВЕРТОЛЕТА

В. И. Бочаров, О. К. Гордеев

Описывается методика снятия с помощью вертолета диаграмм направленности антенн метрового диапазона.

Приводятся результаты измерений диаграммы направленности 4-ярусной семиэлементной антенны типа волновой канал.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время для исследования характеристик излучения антенн применяется авиация. Особенно удобным для этой цели является вертолет благодаря способности его зависать, низкой скорости полета, возможности подниматься вертикально на несколько сот метров и большой маневренности.

Приемная аппаратура может размещаться на земле или на вертолете. Из соображений простоты работы оператора на вертолете, повышения точности измерений напряженности поля и углов (азимут, угол места) наиболее целесообразным является размещение передатчика на вертолете, а приемника на земле.

Применяются также различные методы определения угла места и азимута. Углы места, например, часто определяются по известной дальности и высоте полета вертолета. Причем высота полета часто определяется с помощью высотомеров, установленных на вертолете. Точность отсчетов таких высотомеров сильно зависит от характера местности, от абсолютного значения высоты, поэтому этот метод не может быть точным.

В литературе описано несколько методов измерения диаграмм направленности с помощью вертолета. Не отличаясь серьезно по существу, эти методы сильно отличаются в деталях.

Синтезируя наиболее интересные их особенности, можно построить наиболее универсальную методику, поэтому попытки разработки методики снятия диаграмм направленности антенн являются полезными.

1. Аппаратура

Для проведения измерений использовался вертолет типа МИ-1. Передатчик устанавливался на вертолете. Он представлял собой стабилизированный кварцем генератор мощностью 2 Вт. Генератор работал на симметричный диполь с длиной плеча 2,5 м. Генератор питался от аккумуляторов. Для питания анодных цепей использовался преобразователь напряжения на полупроводниковых триодах. Диполь

подвешивался вдоль хвостовой балки вертолета. Для связи с вертолетом использовалась радиостанция типа Р-809.

В качестве приемного устройства использовался коротковолновый приемник с УКВ конвертором. Чувствительность приемного устройства при полосе 3 кГц составляла 0,1 мкВ. Для записи сигнала использовался самопишущий миллиамперметр типа М32 3/1, который через усилитель-детектор подключался к выходу промежуточной частоты приемника. Запись производилась со скоростью 1,5 мм/сек.

2. Методика измерений

Выбор дальности, на которой производится измерение диаграммы направленности, зависит от назначения антенны, длины трассы, высоты точки, в которой происходит пересечение главных направлений, приемной и передающей антенн над поверхностью земли. В любом случае, когда интересует реальная диаграмма с учетом отражения от земли, измерение должно производиться на расстоянии, превышающем расстояние от исследуемой антенны до конца 1-й зоны Френеля на поверхности земли. В нашем случае это расстояние составило около 7 км, поэтому измерения проводились на дальности 10 км.

Для измерения диаграммы направленности в горизонтальной плоскости применялась следующая методика. По крупномасштабной карте (1:200000) выбирались ориентиры с таким расчетом, чтобы они находились на окружности, в центре которой размещается исследуемая антенна. Разнос ориентиров по азимуту составлял 6°. Полет самолета совершался с таким расчетом, чтобы при пролете над ориентиром курс вертолета, а следовательно, и ось передающей антенны оказывались перпендикулярны линии антенна—ориентир. Для поддержания постоянства высоты полета в процессе измерений производилась корректировка с земли так, чтобы при фиксированном угле места, соответствующем высоте 300 м, вертолет удерживался на горизонтальной линии перекрестия трубы. Команды передавались на вертолет по радиции.

Снятие диаграммы направленности в вертикальной плоскости производилось двумя методами: 1) при непрерывном подъеме вертолета по вертикали; 2) при подъеме вертолета по спирали (ступеньками). В обоих случаях измерения проводились при фиксированном азимуте, соответствующем направлению максимального излучения.

Первый метод заключается в том, что вертолет, начиная от земли, поднимается вверх с минимально допустимой горизонтальной составляющей скоростью. Пилот через равные интервалы высоты сообщает данные о высоте по показаниям альтиметра. По шкале вертикальных углов трубы отсчитываются соответствующие углы места вертолета. Запись сигнала осуществляется непрерывно. Высотные метки фиксируются наблюдателем на диаграммной ленте.

Несмотря на быстроту измерений, этот метод обладает рядом существенных недостатков. В безветренную погоду строго вертикальный подъем возможен на небольшую высоту. Подъем на высоту до 1000—2000 м возможен лишь при наличии встречного ветра, имеющего скорость, соизмеримую с горизонтальной составляющей скоростью вертолета. Кроме того, направление ветра может быть различным на разных высотах, и вертолет будет вынужден менять курс. Однако при использовании всенаправленной антенны можно и в этом случае снизить ошибки за счет поворота антенны.

Второй метод заключается в последовательном наборе высоты по спирали и пролете над ориентиром со строго заданным курсом. Этот метод менее эффективен в отношении времени: на снятие диаграммы требуется около 2 часов лётного времени. Однако он дает более точные результаты и может быть применен при любой лётной погоде, поэтому мы в основном использовали второй метод.

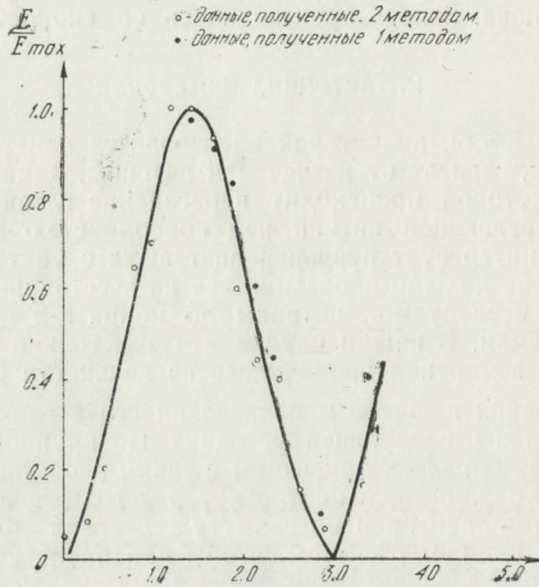


Рис. 1

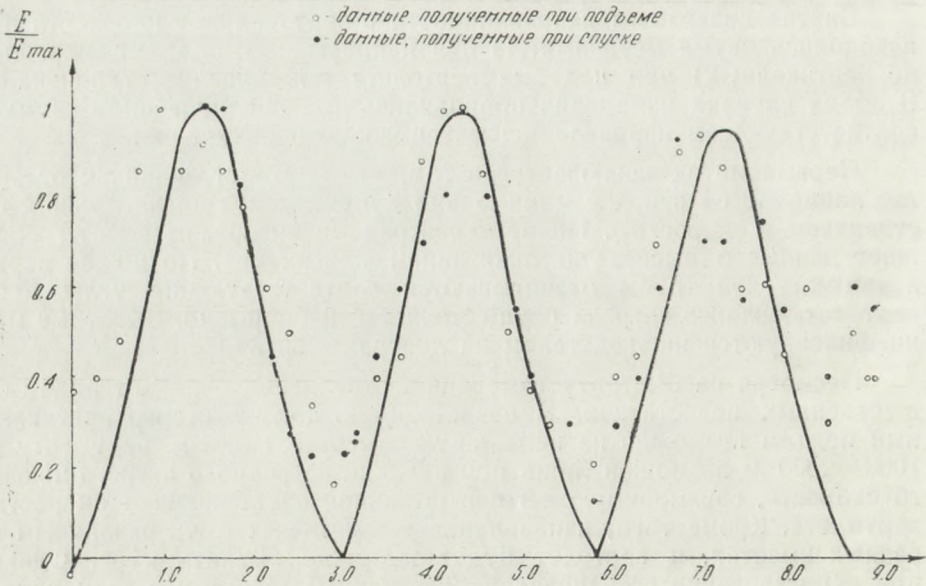


Рис. 2

Измерения проводились следующим образом. Вертолет удалялся по направлению максимального излучения на дальность 10 км. На этой дальности выбирался хорошо заметный ориентир. Вертолет зависал над этим ориентиром на высоте, соответствующей углу места, равному 0° , с курсом, перпендикулярным направлению исследуемая антенна — ориентир. Затем угол места изменялся последовательно через $0,24^\circ$, что соответствует скачку по высоте в 42 м. Вертолет набирал высоту приблизительно 40 м, делал разворот. Производилась корректировка по высоте с таким расчетом, чтобы при пролете над ориентиром вертолет находился в перекрестии трубы. Над ориентиром вертолет пролетал с курсом, перпендикулярным основному направлению. Принимаемый сигнал фиксировался непрерывно самописцем. Моменты пролета над ориентиром и соответствующие углы места отмечались наблюдателем непосредственно на диаграммной ленте самописца.

3. Результаты измерений

Нами было проведено снятие диаграммы направленности четырех-этажной семиэлементной антенны типа волновой канал. Рабочая частота антенны 46,5 мГц. Этажи разнесены на половину длины волны. Антенна установлена на естественном возвышении высотой 60 м над впереди лежащей местностью.

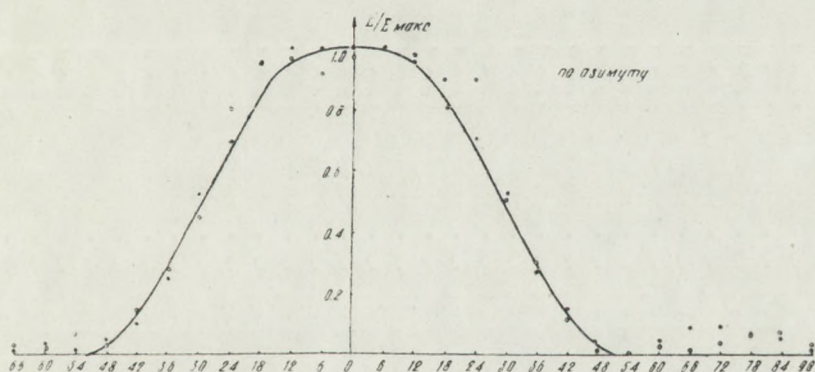


Рис. 3

Результаты измерения диаграммы направленности в горизонтальной плоскости представлены на рис. 1. Сплошной кривой представлена расчетная кривая, кружками и крестиками — экспериментальные точки для двух облетов. Как видно из рисунка, экспериментальные точки хорошо ложатся на расчетную кривую. Максимальное отклонение экспериментальных значений от расчетных не превышает 25 %.

Результаты измерения диаграммы направленности в вертикальной плоскости трех первых лепестков ее представлены на рис. 2. Кружками обозначены экспериментальные данные, полученные при подъеме вертолета по спирали; крестиками — данные, полученные при спуске по спирали. Сплошная кривая представляет собой расчетную диаграмму. Из рисунка видно, что для двух первых лепестков экспериментальные данные находятся в неплохом соответствии с расчетными данными. Положение максимумов и минимумов точно соответствует расчетному. На рис. 3 показаны результаты двух других измерений в области первого лепестка диаграммы. Крестиками обозначены данные,

полученные методом непрерывного подъема по вертикали. Из рисунка видно хорошее совпадение расчетных данных с теоретическими.

Заключение

Сравнение расчетных и экспериментальных диаграмм направленности показывает, что предложенная методика измерения диаграмм направленности антенн метрового диапазона в реальных условиях дает удовлетворительные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Bruesckman, Electronics, Nov, 1955.
2. Д. Бейли, Р. Бейтман и Р. Кирш, „Проблемы современной физики“, № 10, 1957, стр. 99—112.
3. В. И. Бочаров, Ученые записки ТГУ, вып. 35, 1950, стр. 87—90.
4. С. С. Роговенко, Е. Р. Милютин, Р. А. Перцовский, „Труды учебных институтов связи“, вып. 3, 1960.

ИЗМЕРЕНИЕ ФЛУКТУАЦИИ РАЗНОСТИ ФАЗ РАССЕЯННЫХ РАДИОВОЛН ПРИ ПРИЕМЕ НА РАЗНЕСЕННЫЕ АНТЕННЫ

Ж. Н. Вётшев

Описана аппаратура и методика измерений флуктуаций разности фаз на трассе ионосферного рассеяния протяженностью 1340 км. Показано, что при разнесе антенн поперек трассы на расстоянии 2λ (пространственный коэффициент корреляции огибающей $\rho(s) = 0,6$ распределение флуктуаций разности фаз подчиняется нормальному закону.

Основным механизмом распространения радиоволн в слое F ионосферы на частотах, превышающих предельную частоту по отражению (ПЧО), следует считать рассеяние на статистических неоднородностях электронной плотности. Вследствие наличия целого спектра неоднородностей рассеянное поле в месте приема будет носить флуктуационный характер, целиком определяемый свойствами рассеивающей среды. При этом в спектре флуктуаций амплитуды и фазы волны будут наблюдаться весьма быстрые флуктуации, существующие наряду с медленными, обусловленными большими нерегулярностями ионосферы. Естественно, что такого рода флуктуации приводят к искажению исходного сигнала. Для практических приложений важно знать величину и характер искажений, вызванных условиями распространения. Измерения флуктуаций разности фаз позволяют получить основные их статистические характеристики, позволяющие дать такие оценки.

§ 1. Аппаратура и методика измерений

Для исследования флуктуаций разности фаз был использован метод измерения разности фаз между волнами, проходящими по двум прилегающим, расходящимся от одного передатчика трассам. Блок-схема измерений приведена на рис. 1. Сигнал от передатчика мощностью

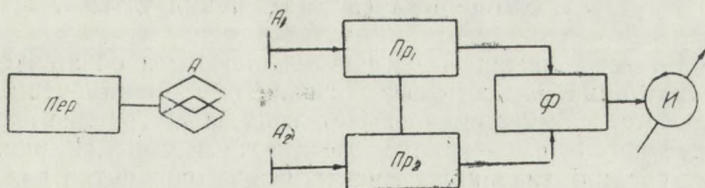


Рис. 1

15 кВт, работающего в режиме непрерывной генерации на частоте 21 мггц, принимается на два полуволновых вибратора, разнесенных на расстояние 2λ и расположенных на высоте 20 м над поверхностью Зем-

ли. С антенн сигнал поступает на входы приемников Пр_1 и Пр_2 (типа ПРВ) с идентичными характеристиками и общим гетеродином. С выхода промежуточной частоты сигнал поступает на вход двухканального фазометра и далее на самописец Н-16, имеющий максимальную скорость протяжки 10 мм/сек. Градуировочный график фазометра приведен на рис. 2. Общая погрешность в измерении разности фаз не превышает 5%.

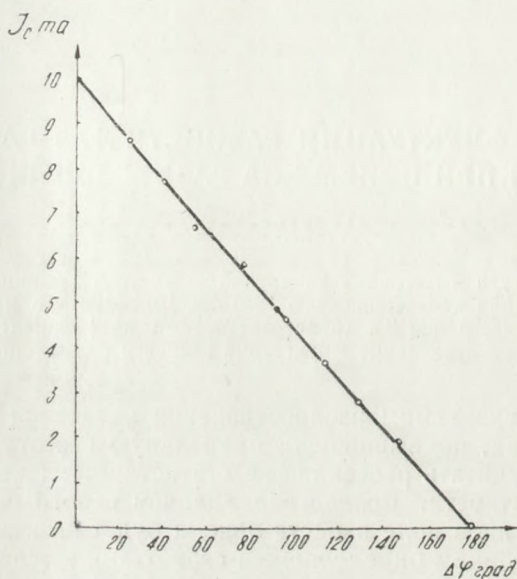


Рис. 2.

В начале каждого сеанса измерительная установка проверялась в контрольных точках. Форма выходных напряжений каждого из каналов контролировалась по синхроскопу 25 И. Измерения проводились сеансами в соответствии с расписанием работы передатчика в следующие часы: с 1⁰⁰ до 1³⁰, с 11⁰⁰ до 11³⁰, с 19⁰⁰ до 19³⁰ местного декретного времени. Продолжительность записи от 15 до 20 минут. Измерения проведены в период с 8 апреля по 11 мая 1960 года. Записи флуктуаций разности фаз, полученные на диаграммной бумаге, подвергались статистической обработке. Определялись дисперсия флуктуаций разности фаз и интегральный закон распределения разности фаз.

§ 2. Экспериментальные результаты

В результате проведенных исследований была обнаружена зависимость флуктуаций разности фаз сигнала от времени суток. Наиболее резкие и глубокие замирения наблюдаются в утреннее время. Менее глубокие и быстрые — в вечерние и ночные часы. На рис. 3 представлен ход средних значений разности фаз за одни сутки для каждого из трех сеансов. Каждая экспериментальная точка представляет усредненное за минуту значение разности фаз.

Следует заметить, что направлению на передатчик соответствует электрическая разность фаз 70°. Как нетрудно видеть, такое поведение разности фаз свидетельствует о непостоянстве условий распространения. Общее повышение ионизации приводит к увеличению интен-

сивности флуктуаций электронной плотности, а следовательно, и к увеличению интенсивности флуктуаций разности фаз, проходящих через ионосферу радиоволн.

Найденные интегральные законы распределения разности фаз сравнивались с нормальным законом распределения. С этой целью точки эмпирического распределения наносились на график со специальной

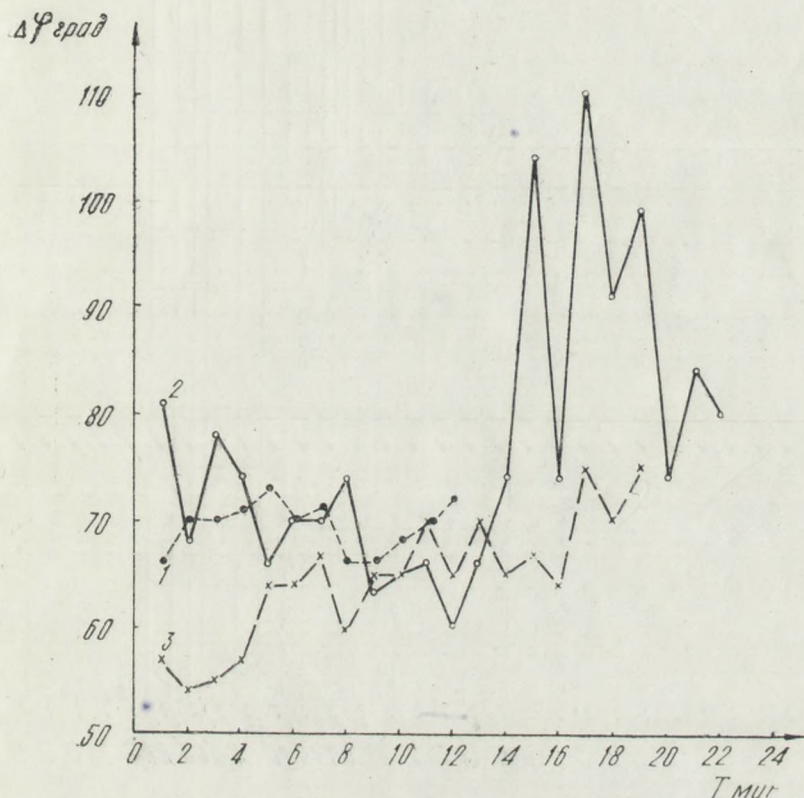


Рис. 3

координатной сеткой, функциональная шкала которой была выбрана таким образом, что график нормального закона распределения изображался прямой линией. Угол наклона прямой зависит от дисперсии исходного случайного процесса, представленного в виде записи флуктуаций разности фаз на диаграммной бумаге самописца.

На рис. 4 представлен такого рода график, где по оси абсцисс отложена вероятность того, что разность фаз превзойдет уровень, показанный на оси ординат, а по оси ординат — разность фаз по отношению к среднему значению.

Нормальный характер закона распределения разности фаз подтверждает теоретические выводы, сделанные в работе [1] о наличии когерентной составляющей сигнала. Воспользовавшись формулой

$$\sigma_{\Delta\varphi} = \frac{1}{b} \sqrt{1 - \rho(s)}$$

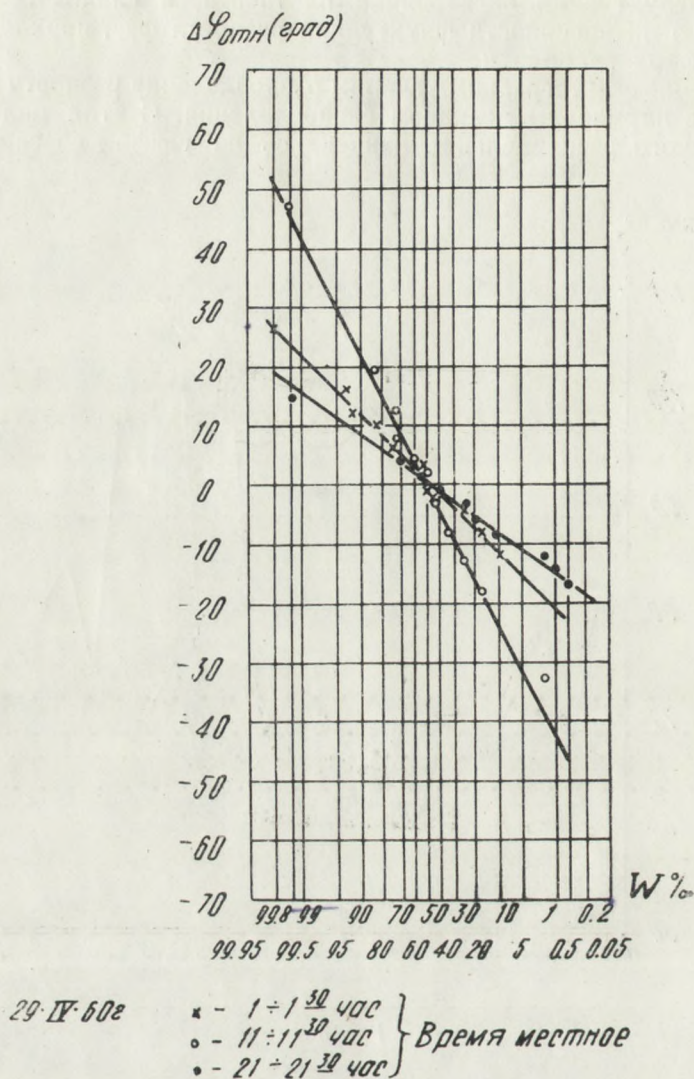


Рис. 4.

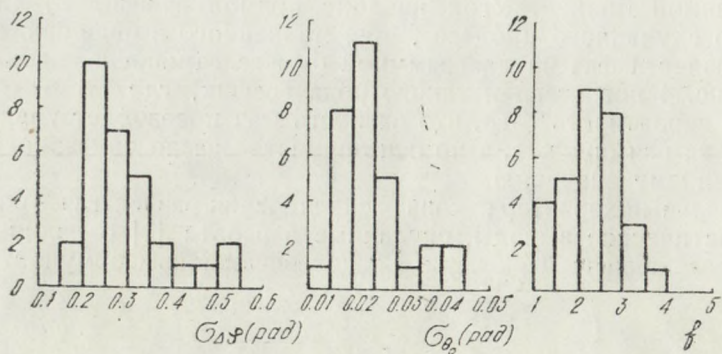


Рис. 5

работы [1] и данными по измерению пространственного коэффициента корреляции [3], можно рассчитать величину b , характеризующую отношение амплитуды когерентной составляющей сигнала к некогерентной.

По найденным значениям $\sigma_{\Delta\varphi}$ определялась дисперсия углов прихода σ_{θ} . Результаты определения величин $\sigma_{\Delta\varphi}$, σ_{θ} и b приведены в табл. 1.

Таблица 1

Дата 1960	Время местное	$\sigma_{\Delta\varphi}$, в ради- анах	σ_{θ} , в ради- анах	b	Дата 1960	Время местное	$\sigma_{\Delta\varphi}$, в ради- анах	σ_{θ} , в ради- анах	b
8.IV	1—1 ³⁰	—	—	—	28.IV	1—1 ⁰⁰	0,228	0,019	3,02
	11—11 ³⁰	0,524	0,044	1,24		11—11 ³⁰	0,366	0,031	1,70
	21—21 ³⁰	0,337	0,028	1,86		21—21 ³⁰	0,258	0,022	2,44
10.IV	1—1 ⁰⁰	0,258	0,022	2,46	29.IV	1—1 ³⁰	0,244	0,02	2,58
	11—11 ³⁰	—	—	—		11—11 ³⁰	0,461	0,039	1,37
	21—21 ³⁰	—	—	—		21—21 ³⁰	0,175	0,015	3,6
13.IV	1—1 ³⁰	0,210	0,018	2,99	30.IV	1—1 ⁰⁰	0,238	0,02	2,65
	11—11 ³⁰	0,35	0,029	1,82		11—11 ³⁰	0,301	0,025	2,04
	21—21 ³⁰	0,279	0,023	2,26		21—21 ³⁰	0,244	0,02	2,58
21.IV	1—1 ⁰⁰	0,238	0,02	2,65	6.V	1—1 ³⁰	0,248	0,021	2,54
	11—11 ³⁰	0,43	0,036	1,47		11—11 ³⁰	0,355	0,03	1,78
	21—21 ³⁰	0,296	0,025	2,20		21—21 ³⁰	0,292	0,025	2,16
22.IV	1—1 ⁰⁰	0,186	0,016	3,38	7.V	1—1 ³⁰	—	—	—
	11—11 ³⁰	0,286	0,024	2,20		11—11 ³⁰	0,326	0,027	2,02
	21—21 ³⁰	0,262	0,022	2,40		21—21 ³⁰	—	—	—
23.IV	1—1 ⁰⁰	0,25	0,021	2,52	11.V	1—1 ³⁰	0,214	0,018	3,08
	11—11 ³⁰	0,527	0,044	1,19		11—11 ³⁰	—	—	—
	21—21 ³⁰	0,314	0,026	2,00		21—21 ³⁰	0,25	0,021	2,52

Данные табл. 1 дают возможность оценить погрешность фазоизмерительных радионавигационных систем за счет условий распространения. Величины σ_{θ} заключены в пределах от 1 до 2,5°. На рис. 5, представлены гистограммы, показывающие распределение экспериментально найденных значений $\sigma_{\Delta\varphi}$, σ_{θ} и b .

Выводы

1. Интенсивность флуктуаций разности фаз при ионосферном рассеянии зависит от времени суток и определяется степенью ионизации ионосферы.

2. Мгновенные значения флуктуаций разности фаз подчиняются нормальному закону распределения.

3. В составе рассеянного сигнала имеется когерентная составляющая.

Автор выражает благодарность профессору доктору физико-математических наук В. Н. Кессениху за постоянное внимание к работе и С. А. Кирилловой за помощь в проведении измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bramly EN, Proc. IEE, Part III, 98, 19—25 (1951), перевод ПСФ, XII, 1952, стр. 82—96.
2. В. Н. Кессених, Когерентное рассеяние в плазме, Известия высших учебных заведений, „Физика“, № 1, 1960.
3. Ж. Н. Вётшев, В. И. Боcharов, Л. Я. Афонина, Экспериментальное исследование статистических свойств сигнала при ионосферном распространении на частотах, превышающих предельную частоту по отражению (печатается в настоящем сборнике).

ТРУДЫ СИБИРСКОГО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

при Томском государственном университете имени В. В. Куйбышева

Вып. 41

1962

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИГНАЛА ПРИ ИОНОСФЕРНОМ РАСПРОСТРАНЕНИИ НА ЧАСТОТАХ, ПРЕВЫШАЮЩИХ ПРЕДЕЛЬНУЮ ЧАСТОТУ ПО ОТРАЖЕНИЮ

Ж. Н. Вётшев, В. И. Бочаров, Л. Я. Афонина

Приведены результаты исследования статистических свойств немодулированного сигнала на частоте 21 мГц на трассе протяженностью 1340 км (трасса И), на частотах 20 и 46 мГц на трассе протяженностью 1560 км (трасса А).

ВВЕДЕНИЕ

Для удовлетворения растущих потребностей в средствах связи возникает существенная необходимость в освоении ультракоротких волн для регулярной радиосвязи на большие расстояния. Дальнее ионосферное распространение за счет рассеяния на статистических неоднородностях ионосферы позволяет осуществлять круглосуточную надежную связь в течение всего года на одной фиксированной частоте в диапазоне 30—60 мГц. Однако использование всех возможностей данного типа радиосвязи должно осуществляться на базе детального исследования как общего поведения сигнала (медианный суточный и сезонный ход), так и на основе подробного исследования тонкой статистической структуры сигнала. Под воздействием ряда факторов: неоднородная структура рассеивающей среды (ионосферы), происходящие в ней движения, частое внезапное увеличение плотности ионизации за счет вторжения в атмосферу Земли метеоров и других ионизирующих агентов случайного характера—наблюдаемый при ионосферном рассеянии сигнал претерпевает быстрые изменения по амплитуде, фазе и частоте.

Таким образом, сигнал носит характер случайного процесса и его свойства могут быть описаны лишь статистическими характеристиками. Настоящая работа посвящена исследованию статистических характеристик сигнала на частотах 21 мГц на трассе протяженностью 1340 км (трасса „И“) и 46 мГц на трассе протяженностью 1560 км (трасса „А“).

В результате статистической обработки записей сигналов были получены распределения замираний, автокорреляционные функции сигнала и функции взаимной корреляции при пространственном разном. Экспериментально определялся интервал усреднения (интервал стационарности) и была произведена оценка погрешностей, возникающих при регистрации и обработке сигнала.

§ 1. Описание экспериментальных радиолиний СФТИ

На радиолинии „И“ передающая станция была расположена на ровной местности. Антенны ромбические, высота подъема 20 м. Передатчик мощностью 15 квт. На приемном пункте впереди лежащая местность пересеченная, покрытая редким лесом. Приемные антенны полуволновые, вибраторы с высотой подъема 20 м.

На радиолинии „А“ передающая станция была расположена на ровной местности с уклоном в несколько градусов в сторону приемного пункта. На частоте 20 мггц антенна ромбическая. Высота подъема 20 м. Мощность передатчика 15 квт. На приемном пункте впереди лежащая местность открытая, ровная. Антенна типа волновой канал, пятиэлементная высота подъема 50 метров над впереди лежащей местностью. На частоте 46 мггц антенны на приемном и передающем пунктах одинаковые—типа волновой канал, семиэлементные, четырехэтажные. Высота подъема передающей антенны 30 м. Высота подъема приемной антенны 50 м. Прием сигналов на частоте 20 и 21 мггц осуществлялся на коротковолновый приемник, с выхода промежуточной частоты которого сигнал подавался на приставку усилителя-детектора. Для приема сигналов на вход приемника подключался УКВ конвертор. При приеме сигнала на разнесенные антенны разнос осуществлялся в направлении, перпендикулярном трассе. Одна из антенн оставалась неподвижной, другая перемещалась на различные расстояния. Приемное устройство для подвижной антенны было аналогичным основному приемному устройству. Для исследования статистических характеристик принимаемого сигнала записи производились на киноплёнку с помощью шлейфового осциллографа типа МПО-2 со скоростью протяжки от 10 до 50 мм/сек. Для записи сигналов, приходящих по двум каналам, при разнесенном приеме использовался осциллограф. Запись сигналов осуществлялась на рулонную фотобумагу шириной 100 мм. Скорость протяжки 25 мм/сек.

§ 2. Методика статистической обработки сигнала

Статистическая обработка пленок для получения кривых распределения относительного уровня сигнала производилась следующим образом. Пленка с записью сигнала проектировалась с помощью аппарата „Микрофот 5А“, с увеличением в 10 раз, на экран из миллиметровой бумаги, на который наносилась калибровка уровней сигнала в микровольтах входного напряжения. Далее вся запись разбивалась на равные участки с интервалами времени в 12,5 сек. На каждом из таких участков с помощью курвиметра определялось суммарное время превышения последовательно на каждом из фиксированных уровней. Число уровней в зависимости от вида записи лежало в пределах от 15 до 20. Вероятность превышения сигналом какого-либо уровня определялась как отношение общего времени превышения сигналом этого фиксированного уровня во всех элементарных участках ко всему периоду обработки. Одновременно с этим исчислялось число пересечений огибающей выбранного фиксированного уровня. Получаемые данные представлялись графически и анализировались.

Расчет автокорреляционных функций сигнала производился на электронной вычислительной машине „Урал“ по программе, составленной для формулы

$$\rho(\tau) = \frac{\sum_{r=1}^{n-m} [R(t_{r+m}) - R_{cp}] [R(t_r) - R_{cp}]}{\sum_{r=1}^n R^2(t_r) - R_{cp}^2},$$

где $R(t_r)$ — огибающая сигнала в фиксированный момент времени, n — число выборок в интервале обработки T , m — число рассчитываемых точек автокорреляционной функции. Для расчета автокорреляционных функций исходные данные получались с киноплетки методом, описанным выше. Интервал T разбивался на 600 элементарных интервалов Δt , на границе которых и считывались значения огибающей сигнала. Интервал Δt выбирался с соблюдением условия известной теоремы академика В. А. Котельникова. Расчет производился при $m=100$. Функции взаимной корреляции при пространственном разносе рассчитывались по методу С. В. Богданова. Этот метод расчета с максимальной погрешностью в 10% пригоден для широкого класса распределений, в том числе для релеевского, нормального, логарифмически нормального.

Для обработки использовалась двухканальная запись сигнала на фотобумаге. Определялись медианные уровни сигнала по каждому из каналов и вероятность одновременного превышения уровней по обоим каналам. Коэффициент корреляции R_1 вычислялся по формуле:

$$R_1 = \frac{P(A \text{ и } B) - P(A) \cdot P(B)}{\sqrt{P(A)[1 - P(A)] P(B)[1 - P(B)]}}, \quad (1)$$

где $P(A)$ и $P(B)$ — вероятности превышения сигналом выбранного фиксированного уровня по первому и второму каналам;

$P(A \text{ и } B)$ — вероятность превышения сигналом этих фиксированных уровней одновременно в обоих каналах.

Коэффициент корреляции амплитуд сигнала функционально связан с R_1 . Вид этой связи определяется законом распределения амплитуд. Однако с указанной выше максимальной погрешностью в 10% может быть использована формула:

$$R(S/\lambda) = \sin\left(\frac{\pi}{2} R_1\right), \quad (2)$$

являющаяся точной для релеевского распределения.

§ 3. Экспериментальные результаты

а) Одномерное распределение огибающей сигнала. В начальной стадии исследований было произведено определение зависимости вида функции распределения от интервала обработки сигнала.

На рис. 1 приведены функции распределения огибающей сигнала, построенные за интервалы времени: 12,5; 26,5; 40,5; 58; 74; 91,0; 105; 134; 148; 162; 180 сек. Нетрудно видеть, что лишь для интервала в 12,5 сек наблюдается небольшое отличие от общей тенденции кривой распределения. В дальнейшем для получения интегральных функций распределения выбирался интервал обработки в 1 мин, т. е. в то

время, в течение которого стационарность процесса сохраняется. Всего было обработано 150 сеансов наблюдений.

Функции плотности вероятности находились несколькими способами: графическим дифференцированием интегральной кривой, по числу пересечений, по гистограмме, методом, вытекающим из самого определения плотности вероятности. Сопоставление этих способов нахождения функции плотности вероятности показало, что наилуч-

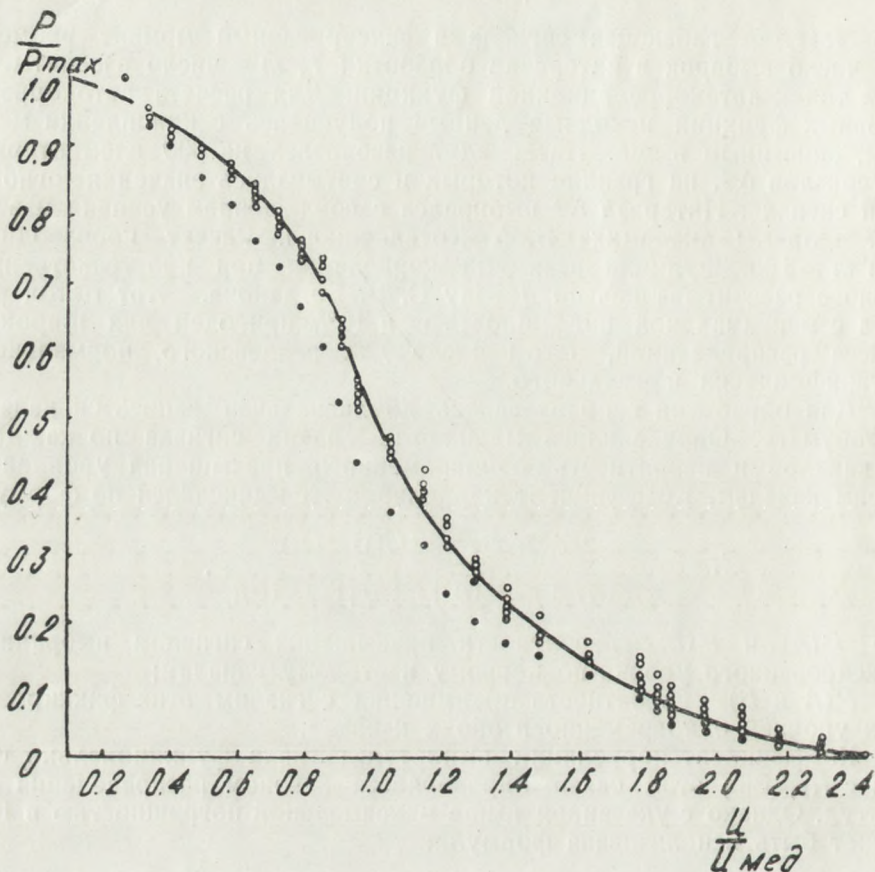


Рис. 1

шим приближением к функции распределения, найденной точным способом, обладают функции распределения, найденные по числу пересечений фиксированных уровней. Сопоставление функций распределения по трассам и рабочим частотам не дало возможности выявить преимущественные тенденции для закона распределения.

Поэтому была произведена общая классификация функций распределения, которая выявила следующее соотношение между тенденциями в законах распределения: с тенденцией в сторону релейского закона распределения 25, обобщенного релейского 53, в сторону гауссовского 22%. Приведенный на рис. 2 пример распределений характеризует эти тенденции. Как следует из [5] при $b > 3$ обобщенный релейский закон можно считать гауссовским. Из рис. 2 видно, что с возрастанием b кривая распределения принимает симметричный вид. Указанные соотношения между законами распределения показы-

вают, что в 75% случаев в составе рассеянного сигнала имела когерентная составляющая, наличие которой было теоретически обосновано в работе [6].

б) Взаимные корреляционные функции при пространственном разнесенном приеме. Для борьбы с замираниями на трассах ионосферного рассеяния весьма эффективным методом является сдвоенный, строенный и счетверенный прием.

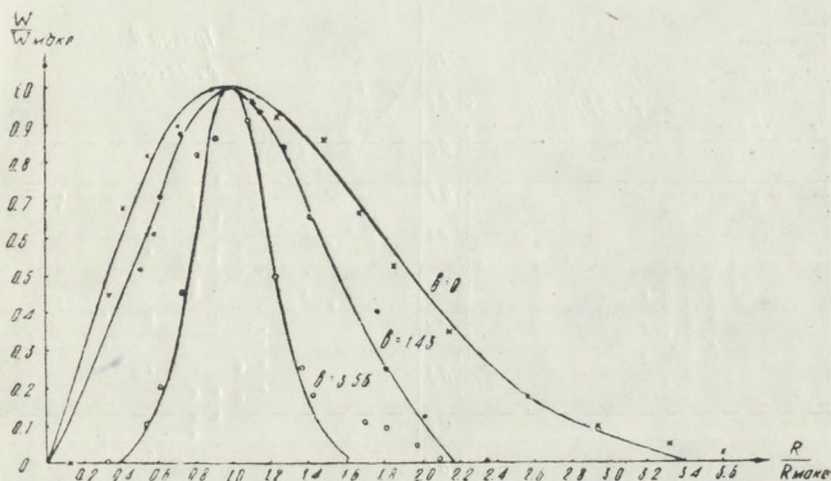


Рис. 2.

Для определения оптимального расстояния разнеса антенн необходимо знать взаимнокорреляционные функции сигнала, принимаемого на две антенны при различных расстояниях между ними. Поперечная корреляция между флуктуациями амплитуд в двух каналах пространственно разнесенного приема простирается приблизительно на те же расстояния, что и характерный масштаб эффективно рассеивающих неоднородностей ионосферы. Вследствие этого будет неизбежный разброс в экспериментальных кривых, соответствующих отдельным реализациям. Однако средние, соответствующие множеству реализаций, будут отличаться устойчивостью.

На рис. 3 приведены экспериментальные данные для трассы „И“, на рис. 4—для трассы „А“.

Таким образом, можно считать, что на трассе „И“ эффективный разнос антенн будет при расстояниях, больших 3λ , на трассе „А“—при расстояниях, больших 6λ .

в) Автокорреляционные функции рассеянного сигнала. Временная функция автокорреляции $\rho(\tau)$ определяется характером временной функции корреляции для диэлектрических свойств рассеивающей среды. Процессы движения и изменения неоднородностей в объеме рассеяния довольно сложны и могут быть идеализированы двумя крайними случаями движения—хаотическим и дрейфом. Вид автокорреляционной функции для этих крайних случаев движения был определен в работе [1]. Более сложные модели движения в рассеивающей среде и соответствующие им автокорреляционные функции рассеивающего сигнала были рассмотрены в работах [2, 3]. Ниже будут рассмотрены экспериментальные результаты, полученные для трасс „И“ и „А“.

Всего было рассчитано 43 функции автокорреляции. Из них для трассы „И“ (частоте 21 мггц)—8; для трассы „А“ (частоте 20 мггц)—8; (частоте 46 мггц—27.) Вид автокорреляционной функции, соответствующей одной записи, характеризуется в начальной части спадом. При значениях $\tau > \tau_k$ наблюдаются осцилляции, которые могут иметь для каждой единичной записи свою частоту и амплитуду.

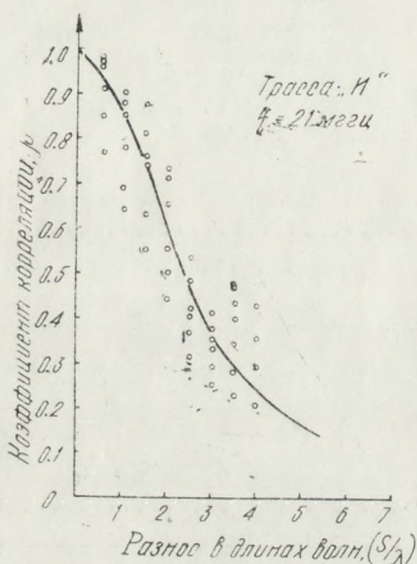


Рис. 3.

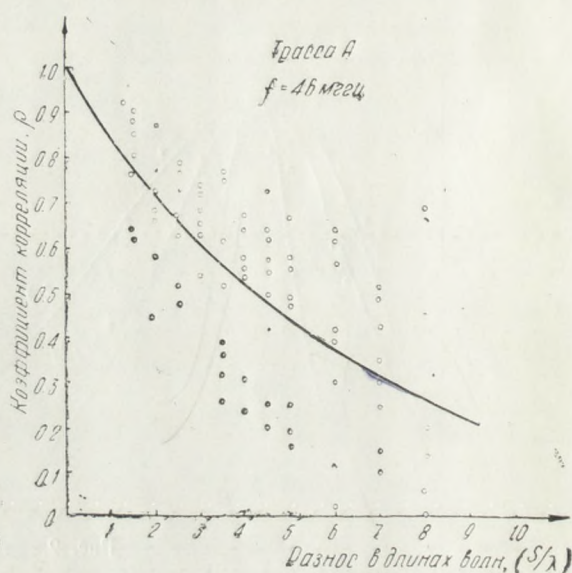


Рис. 4.

Физической причиной этих осцилляций являются характер и величина скоростей движения ионосферных неоднородностей в объеме рассеяния. Образец автокорреляционной зависимости огибающей рассеянного сигнала представлен на рис. 5.

На рис. 6 представлены усредненные функции автокорреляции. Усреднение проводилось по всем реализациям автокорреляционных функций, полученных для соответствующих трасс и частот. Каждая точка есть среднее арифметическое по всем экспериментальным точкам для соответствующего значения τ . Приведенным экспериментальным точкам могут быть найдены аппроксимирующие средние кривые (на рис. 6 они проведены сплошными линиями), которые определяются из следующих соображений.

Будем считать, что изменение неоднородностей в объеме рассеяния происходит исключительно за счет дрейфа, в то время как другие факторы (турбулентность, диффузия, спорадическая ионизация и т. п.) не играют существенной роли. Тогда, воспользовавшись результатами работы [2, 3], приходим к следующему выражению для функции автокорреляции:

$$\rho(\tau) = e^{-\frac{8\pi^2 f_0^2 v_n^2 \sin^2 \frac{\theta}{2} \tau^2}{c^2}}. \quad (3)$$

Формула (3) получена в предположении гауссовского характера коэффицента корреляции неоднородных свойств среды.

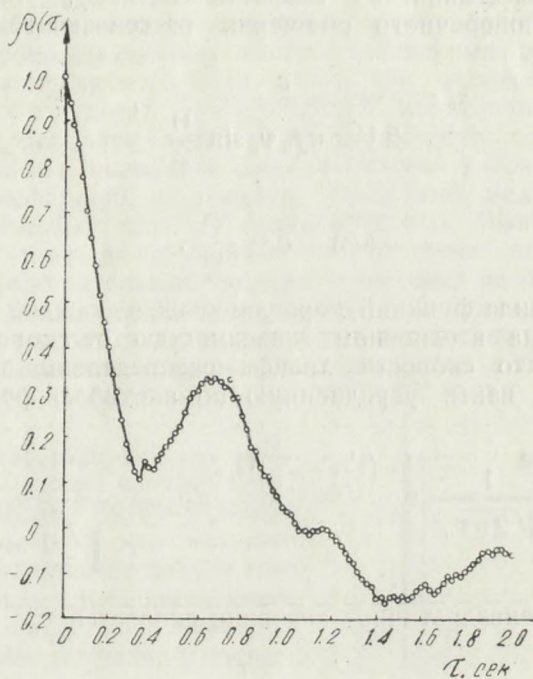


Рис. 5

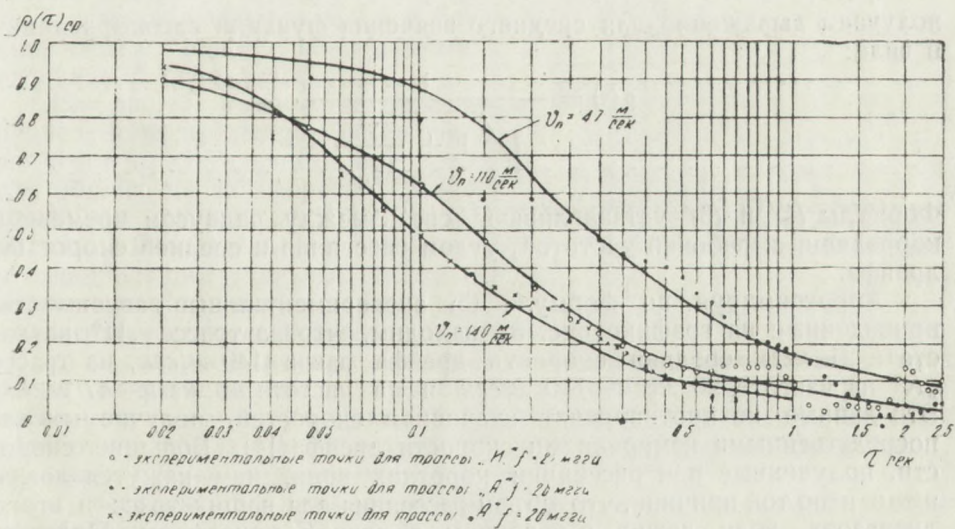


Рис. 6.

Θ — угол рассеяния; c — скорость света; f_0 — рабочая частота; v_n — скорость поперечного смещения рассеивающей среды. Вводя обозначение:

$$\tau_k = \frac{c}{2\sqrt{2}\pi f_0 v_n \sin \frac{\Theta}{2}}, \quad (4)$$

получаем

$$\rho(\tau) = e^{-\frac{\tau^2}{\tau_n^2}}. \quad (5)$$

Изменчивость вида функций корреляции для каждой реализации будет обусловлена в основном зависимостью от скорости дрейфа v_n . Предполагая, что скорости дрейфа распределены по нормальному закону, можно найти усредненную по ансамблю функцию автокорреляции

$$\tilde{\rho}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}v_0} e^{-\left(\frac{1}{2v_0^2} + \frac{\tau^2}{a^2}\right)v_n^2} dv_n = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{2v_0^2}{a^2}\tau^2}},$$

где v_0 — среднеквадратичное значение скоростей v_n ,

$$a^2 = \frac{c^2}{8\pi^2 f_0^2 \sin^2 \frac{\Theta}{2}}.$$

Вводя обозначение

$$\tau_{k\text{ ср}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{a}{v_0}, \quad (6)$$

получаем выражение для среднего значения функции автокорреляции в виде:

$$\rho(\tau) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\tau^2}{\tau_{k\text{ ср}}^2}}}.$$

Формулы (4) и (6) устанавливают связь между радиусом временной корреляции и рабочей частотой, углом рассеяния и средней скоростью дрейфа.

Аппроксимируя по формуле (5) экспериментальные зависимости, приведенные на графике рис. 6, находим, что на трассе „И“ на частоте 21 мггц средняя скорость дрейфа равна 140 м/сек, на трассе „А“ на частоте 20 мггц — 110 м/сек и на частоте 46 мггц — 47 м/сек. Эти данные не противоречат значениям скоростей, получаемых непосредственными измерениями скорости дрейфа [4]. Большие скорости, полученные при рассеянии коротких волн, нам кажутся логичными и по той причине, что объем рассеяния для наших трасс и этого диапазона волн лежит в основном в слое F ионосферы. Подтверждением этому служит наличие корреляции между медианным уровнем сигнала и МПЧ по отражению.

2) Длительность выбросов интенсивных сигналов. Появление интенсивных выбросов в составе сигнала может быть обусловлено влиянием ряда случайных ионизирующих факторов, чаще

всего локального характера. К такого рода образованиям интенсивных неоднородностей следует отнести в первую очередь метеорную ионизацию, сопровождающуюся часто собственным радиоизлучением и вариациями геомагнитного поля, далее, так называемую авроральную ионизацию—результат бомбардировки ионосферы корпускулярными потоками, наиболее активно проявляющими себя в полярных областях; ионизация, вызванная электрическими разрядами в верхней атмосфере (атмосферики), и, наконец, различные механизмы, приводящие к образованию слоя E спорадического. Выяснение влияния отдельных факторов на случайные интенсивные выбросы сигнала представляет самостоятельный интерес и выходит за рамки настоящей статьи. Следует лишь отметить трудность выделения сигналов, обусловленных тем или иным из вышеперечисленных механизмов, вследствие наличия общности суточного хода и продолжительности выбросов [8, 9].

Часовое число выбросов на записи сигнала превосходит часовое число метеоров, получаемое путем радиолокационных измерений, что является лишним доказательством в пользу того довода, что наряду с метеорной ионизацией существенную роль играют и другие механизмы случайной ионизации верхних слоев атмосферы.

Нами было проведено исследование распределения интенсивных выбросов в зависимости от их длительности. При этом учитывались лишь выбросы продолжительностью не более 15 сек. Выбросы большей продолжительности наблюдаются редко и большей частью хорошо коррелируют с наличием E спорадического.

На рис. 7 в качестве примера приведено распределение интенсивных выбросов по длительности, полученное для общего числа выбросов, равного 10350, на трассе „А“ на частоте 46 мГц. Распределение показывает, что наибольшим удельным весом обладают кратковременные всплески продолжительностью до 0,2 сек.

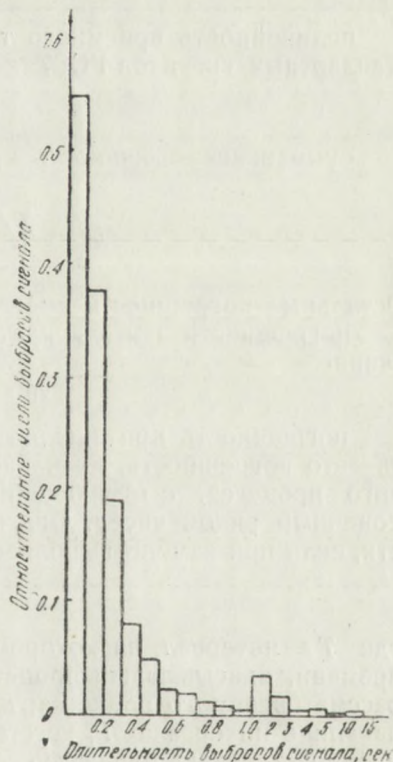


Рис. 7.

д) Источники погрешностей при статистической обработке сигнала, записанного на пленку и при его квантовании вручную. Общая погрешность при статистической обработке сигнала, представленного в виде фотозаписи на кинопленке, складывается из следующих составных частей.

- 1) погрешности при регистрации сигнала на пленку с учетом калибровки;
- 2) шум квантования;
- 3) погрешности при дискретизации непрерывного сигнала;
- 4) погрешности за счет конечности времени усреднения;
- 5) погрешность, вызванная неточностью регистрации сигнала, являющаяся инструментальной погрешностью.

Принимая за 100% полное отклонение сигнала на фотопленке, можно оценить точность регистрации сигнала, исходя из следующих оценок элементарных погрешностей:

флуктуационные шумы приемного тракта и гладкие шумы атмосферного происхождения:

$$\delta_1 = 15 \div 20\%;$$

нестабильность питающей сети при принятых мерах стабилизации практически не приводит к ошибкам в измерениях

$$\delta_2 \approx 0;$$

нестабильность частоты гетеродина и частоты передатчика

$$\delta_3 = 5\%;$$

нелинейность приемного тракта с учетом погрешности генератора стандартных сигналов ГСС7

$$\delta_4 = 30\%;$$

суммарная погрешность при регистрации равна

$$\delta_I = \sqrt{\sum_{i=1}^4 \delta_i^2} = 36,4\%.$$

Остальные погрешности имеют следующие оценки:

погрешности при дискретизации уровней сигнала (шумы квантования)

$$\delta_{II} = (0,2 \div 0,3)\%;$$

погрешность при дискретизации по времени непрерывного сигнала—это погрешность, возникающая при замене непрерывного случайного процесса, с ограниченным на интервале времени T спектром, конечным рядом чисел. Она будет величиной второго порядка малости, если при замене выполнено условие теоремы В. А. Котельникова

$$n = 2TF,$$

где T —интервал, на котором рассматривается непрерывная функция времени, описывающая процесс; F —максимальная частота в спектре рассматриваемого процесса; n —число дискретных значений функции на длине интервала T , восстанавливающих данную функцию с какой угодно степенью точностью.

Таким образом, $\delta_{III} \approx 0$. Погрешности, возникающие за счет конечности времени усреднения T , $\delta_{IV} = 1,5\%$.

Выводы

1. Экспериментально установлено наличие в составе рассеянного сигнала когерентной составляющей.

2. При использовании разнесенного приема следует выбирать расстояние разноса больше 6λ .

В заключение авторы выражают глубокую благодарность профессору доктору физико-математических наук В. Н. Кессениху, под руководством которого выполнялась данная работа, Р. Е. Колбиной, В. Б. Кашкину и О. М. Нестеровой за помощь в обработке экспериментального материала.

Считаем своим приятным долгом выразить благодарность заведующему ионосферной лаборатории доценту А. И. Лихачеву за огромную помощь в организационной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. В. Vanerji, Journ. Atmos. Terr. Phys., **6**, 50—56, 1955 (перевод ПСФ, VII, 1955).
- 2. Г. С. Горелик, К теории рассеяния радиоволн на блуждающих неоднородностях, „Радиотехника и электроника“, т. I, вып. 6, 1956, стр. 695—703.
3. Г. С. Горелик, О влиянии корреляции скоростей рассеивателей на статистические свойства рассеянного излучения, „Радиотехника и электроника“, т. II, вып. 10, 1957, стр. 1227—2233.
4. Сборник статей № 1, „Дрейфы и неоднородности в ионосфере“, Изд. АН СССР, М., 1959.
5. Б. Р. Левин, Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, М., 1960, изд. „Советское радио“.
6. В. Н. Кессених, Когерентное рассеяние в плазме, Изв. высших учебных заведений, „Физика“, № 1, 1960, стр. 234—235.
7. С. В. Богданов, Приближенный метод измерения нормированной функции корреляции, Сб. трудов НИИ связи, вып. 2 (6), 1957, стр. 25.
8. Сборник статей, IV раздел программы МГГ (полярные сияния и свечение ночного неба), № 2—3, изд. АН СССР, М., 1960.
9. Сборник статей, III раздел программы МГГ (геомагнетизм), № 3, изд. АН СССР, М., 1961.

К ВОПРОСУ О ТРОЙНОМ РАСЩЕПЛЕНИИ СИГНАЛА В F ОБЛАСТИ

М. П. Рудина, Е. Н. Еременко

Приведены результаты анализа ионограмм с тройным расщеплением волны в F области за период с 1946 по 1956 год по измерениям в Томске.

В октябре 1956 года на Всесоюзном совещании по радиофизическим методам исследования ионосферы вопрос о возможности тройного расщепления сигнала в области F ионосферы подвергался обсуждению.

Приводился экспериментальный материал Иркутской полуавтоматической станции [1]. Анализ этого материала показал, что так называемых „чистых“ триплетов в Иркутске почти не наблюдалось. Часто записывались „ложные“ триплеты, образующиеся в результате наложения двух отраженных сигналов: от слоев F_2 и F_{2s} . В этих случаях наблюдаемая разность в критических частотах „ X “, „ O “ и „ Z “ компонент много больше $\frac{F_H}{2}$, что, по мнению авторов, противоречит теоретическим предпосылкам.

В то же время В. Н. Кессених [2] показал, что разность $(f^x - f^o)$ и $(f^o - f^z)$ может быть больше $\frac{F_H}{2}$ из-за неоднородности магнитного поля Земли.

В условиях Томска триплеты наблюдались довольно часто [3]. На протяжении с 1946 по 1956 год было зарегистрировано также 942 ионограммы с z -отражением, но в ряде случаев F_H отличалась от $1,5 \text{ мггц} \pm 0,6 \text{ мггц}$. Чтобы выделить „чистые“ триплеты, мы анализировали только 494 ионограммы, когда $F_H = (1,5 \pm 0,05) \text{ мггц}$.

Характер изменения числа появления z -отражений в ‰ к общему числу наблюдений за месяц за одиннадцать лет приведен на рис. 1 (пунктирная кривая).

Наибольшее число появления триплетов наблюдается в зимнее время. Летом случаи появления тройного расщепления редки или совершенно отсутствуют.

В 1947—1948 годах наблюдалось заметное уменьшение случаев отражения z -компоненты в зимний период. В 1954—1955 годах, напротив, тройное расщепление сигнала регистрировалось часто. И если на восходящей ветви солнечной активности (на рис. 1 W —сплошная кривая) в 1946—1947 и 1954—1955 годах наблюдался рост числа случаев регистрации z -эхо в зимнее время года, то на нисходящей ветви (1949—1951) эта закономерность не наблюдается. В то же самое вре-

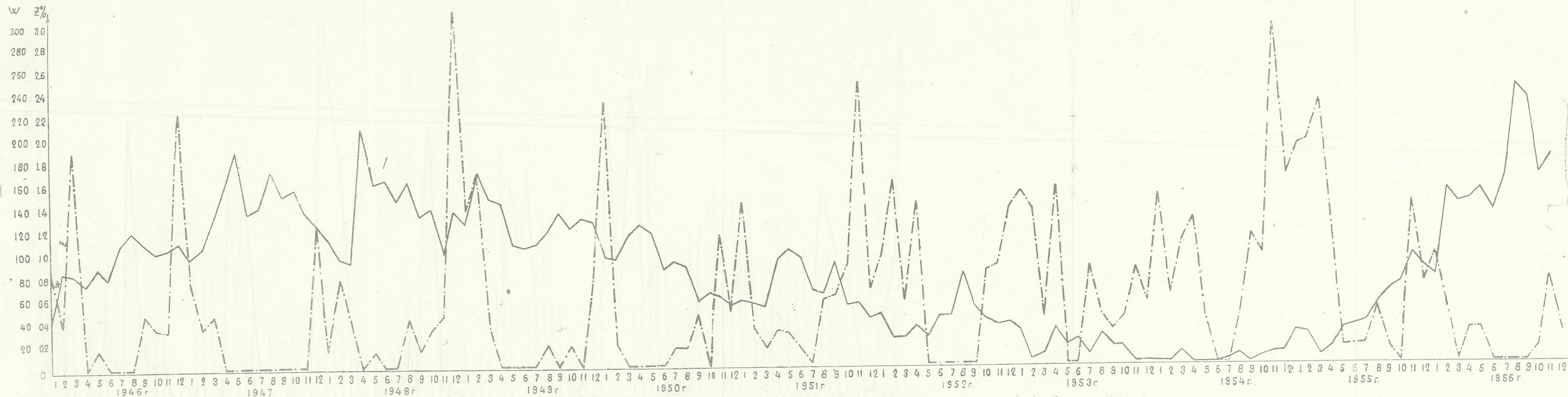


Рис. 1. Зависимость числа появления z в % и W от времени.

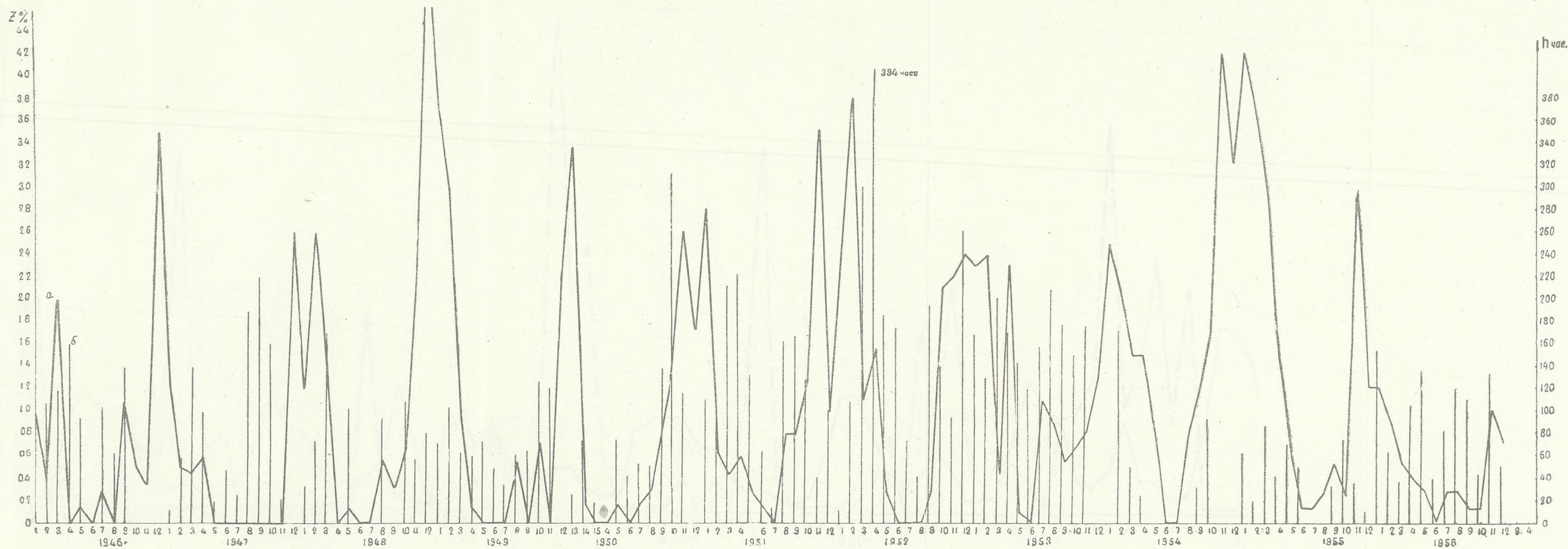


Рис. 2. Число появлений z и количество магнитных бурь в часах с 1946 по 1956 год.

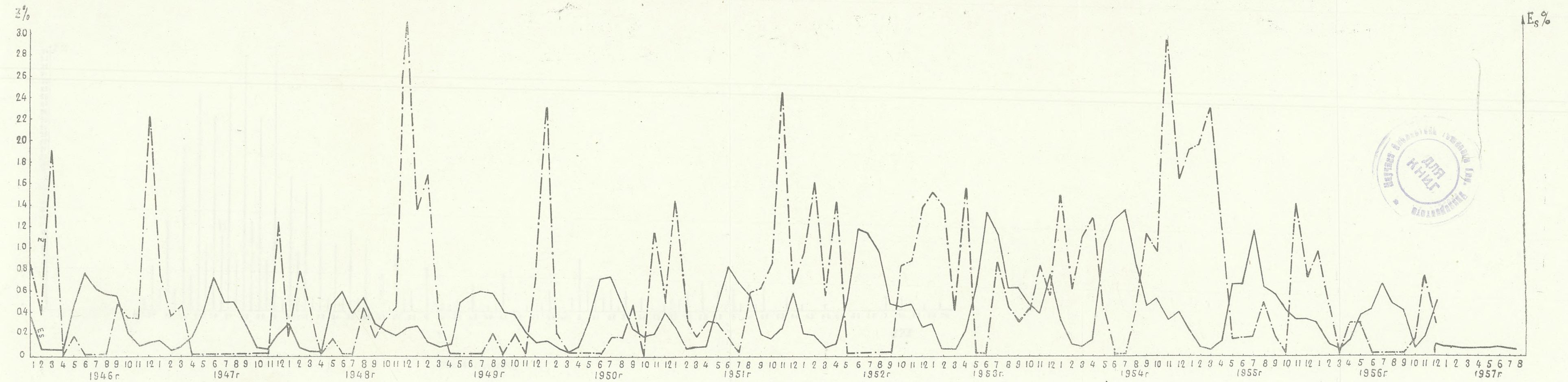


Рис. 3. Число появлений z и E_s за 11 лет

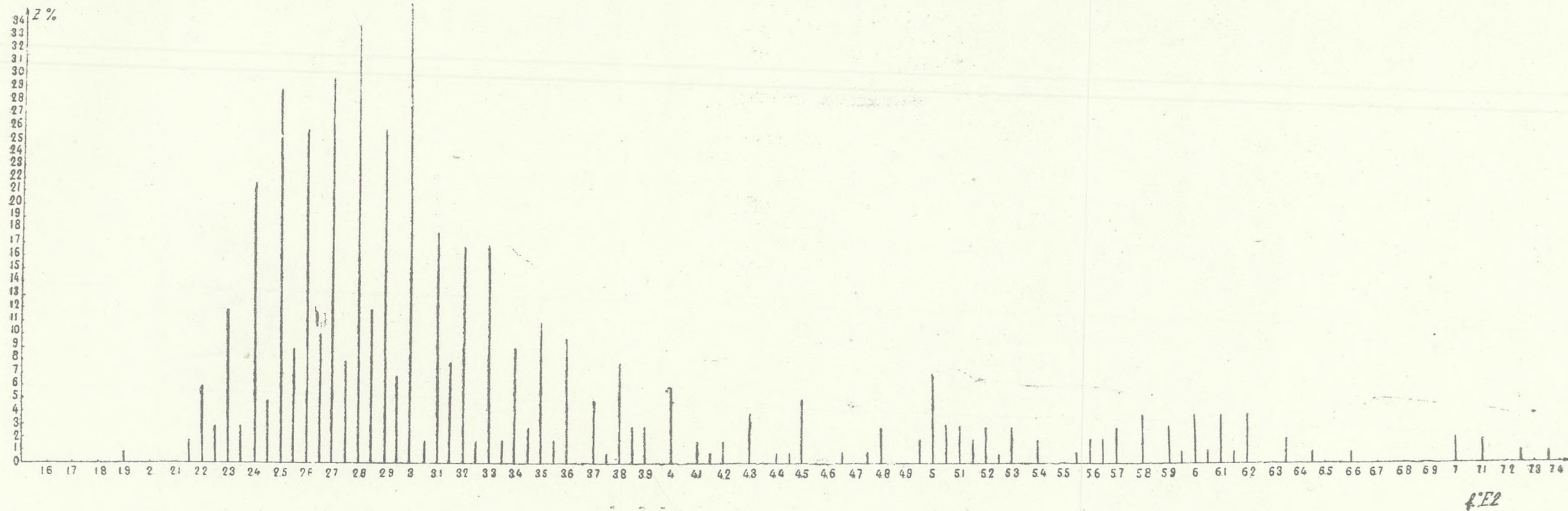


Рис. 4. $z = \varphi(f \cdot F_2)$

мя число случаев z -отражений в годы минимума активности Солнца (1951—1954) велико, и триплет наблюдается круглый год.

В 1955—1956 годах наряду с ростом солнечной активности отмечается снова снижение случаев появления z -компоненты, особенно заметное снижение отмечается в 1956 году.

В работе [4] показывается, что триплет часто наблюдается в периоды ионосферно-магнитных возмущений.

На рис. 2 проводится сопоставление продолжительности магнитных бурь в часах (больших, умеренных и малых), по данным Иркутска, и случаев наблюдения z -отражений. Отчетливо видно, что наибольшая продолжительность бурь отмечалась с 1951 по 1953 год, в этот же период лет число ионограмм с z -компонентой было наибольшим.

Случаи регистрации триплетов, как показал анализ, находятся в тесной связи с уровнем ионизации на высоте E -слоя, а именно: наблюдение триплетов прекращается всякий раз, как появляется отражение от высокоградиентного слоя (E_s).

На рис. 3 эта закономерность отчетливо проявляется. Замечено также, что одним из условий наблюдения третьей магнитно-ионной компоненты является низкая электронная концентрация в области F . На рис. 4 приводится зависимость случаев появления z -отражений от критической частоты обыкновенного луча.

Наиболее часто z -компонента регистрируется тогда, когда частота обыкновенной волны меняется от 2,2 до 4,0 мГц, что соответствует уровню ночной ионизации F области зимой.

Кроме статистического анализа, в период с декабря 1956 года по март 1957 года проводились систематические наблюдения за отраженным сигналом на расстоянии 3,5 км от передатчика ионосферной станции. Ионограммы снимались почти ежедневно с 20 до 6 часов (время $90^\circ E$ меридиана), т. е. в период времени, когда чаще всего в Томске наблюдается триплет.

Выяснилось, что в ряде случаев триплет наблюдался на удалении от передатчика и не наблюдался в пункте расположения ионосферной станции, что может характеризовать неоднородную структуру области F и рассеяние. На рис. 5 приведена для примера копия ионограммы с z -компонентой, снятой на удалении от передатчика 21 января 1957 года, когда в Томске наблюдалось северное сияние.

Кривые $f, h = \varphi(t)$ отличались в эти периоды времени от обычных быстрым падением $\frac{dN}{dh}$ на нижних уровнях [5], увеличением минимальной высоты отражения (до 500 км) и размытием сигнала.

Приведенные данные характеризуют явление тройного расщепления, как вполне закономерное.

Сопоставление случаев появления z -компоненты с активностью Солнца по среднегодовым величинам W (рис. 6) показало, что триплет чаще наблюдается в годы минимума активности Солнца, когда нижняя ионосфера (D и E области) слабо ионизирована и энергия падающей на ионосферу волны поглощается мало.

Отсутствие z -компоненты в летнее время как днем, так и ночью и в освещенное время зимой можно объяснить также состоянием нижней ионосферы. То же самое подтверждает тесная связь между состоянием E_s и наблюдением триплета в F области,

Случаи, когда одновременно с E_s наблюдается триплет в F -области, указывают на изменчивость структуры ионосферы на уровне E -слоя.

Триплеты, наблюдаемые на расстоянии от передатчика, подтверждают предположение Эллиса [6], о том, что z -компонента может являться фактором, позволяющим изучать рассеяние энергии падающей волны на неоднородностях в F -области.

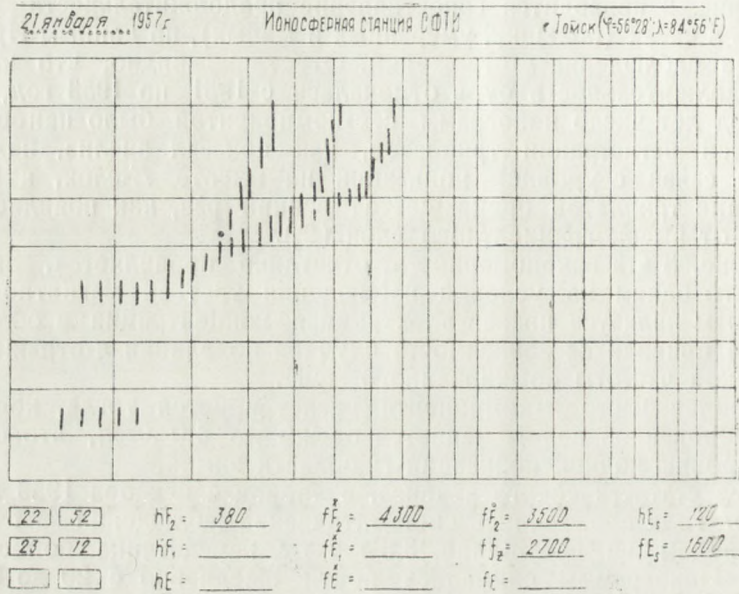


Рис. 5. Ионограмма

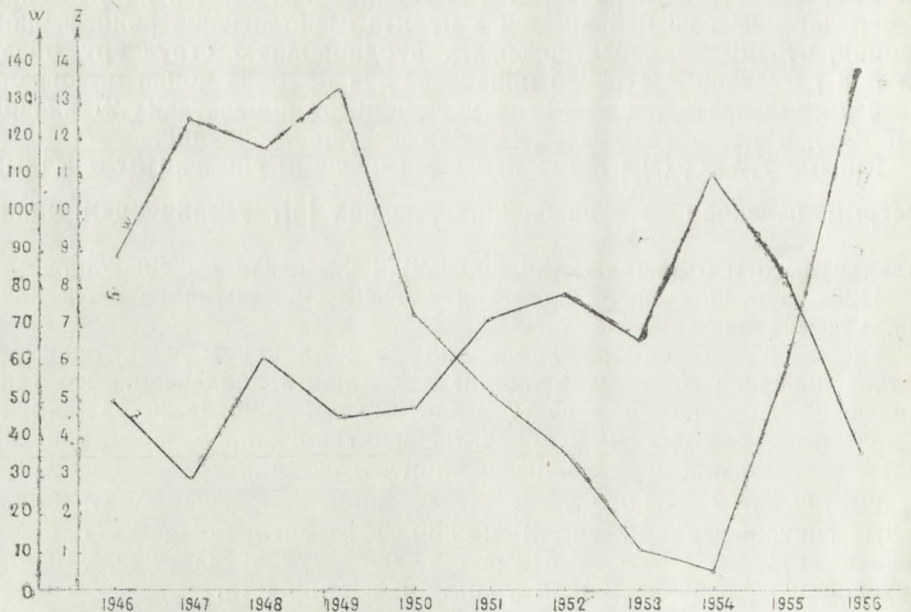


Рис. 6. Ход среднегодовых W и z -появлений.

Заключение

Приведенный статистический материал показал, что:

1) тройное расщепление электромагнитного сигнала в F -области относится к регулярным явлениям распространения сигнала в магнитно-активной среде;

2) нерегулярность появления z -компоненты объясняется:

а) состоянием и структурой нижней ионосферы, а также F -области, быстро меняющимися с изменением уровня активности Солнца и магнитного поля Земли.

Резкое снижение числа появления z -отражений в годы с 1957 по 1960 можно объяснить ростом пятнообразовательной деятельности Солнца, по сравнению с прошлым циклом, примерно в два раза;

б) параметрами аппаратуры, применяемой для зондирования ионосферы. Так, например, факт редкой регистрации z -компоненты в Иркутске может быть отнесен за счет того, что наименьшая применяемая частота зондирования равнялась 2,2 мГц, а как показано на рис. 4, частота z -компоненты может быть ниже этой частоты.

Немаловажную роль в этом вопросе играет и мощность ионизации. Подобно тому, как растет предельная частота при увеличении мощности [7], так может возрасти и число наблюдений триплета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. П. Гончаров, Труды СФТИ, вып. 37, 1959.
2. В. Н. Кессених, ДАН СССР, т. 22, № 7, 1939.
3. А. И. Лихачев и М. П. Рудина, Труды СФТИ, вып. 25, 1948.
4. Н. Д. Булатов, Труды СФТИ, т. VI, в. 1, 1941.
5. М. П. Рудина, Труды СФТИ, вып. 33, 1954.
6. G. R. Ellis, J. Atm. Terr. Physics, 1956.
7. Г. Г. Джемилев, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, 1961.

ТРУДЫ СИБИРСКОГО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

при Томском государственном университете имени В. В. Куйбышева

Вып. 41

1962

ОТЧЕТ

о совещании по координации научно-исследовательских работ по ионосфере, земному магнетизму и распространению радиоволн в Сибири, Казахской ССР и Туркменской ССР

г. Томск, 22—26 июня 1961 г.

В совещании по координации научно-исследовательских работ по ионосфере, земному магнетизму и распространению радиоволн, состоявшемся в г. Томске 22—26 июня 1961 г., при проблемной лаборатории радиофизики Томского государственного университета приняли участие представители следующих научных учреждений и высших учебных заведений.

I. Томский госуниверситет и Сибирский физико-технический научно-исследовательский институт при ТГУ:

1) зав. проблемной лабораторией и кафедрой радиофизики ТГУ профессор доктор В. Н. Кессених,

2) зав. лабораторией ионосферных исследований СФТИ доцент канд. физ.-мат. наук А. И. Лихачев,

3) ст. научный сотрудник, канд. физ. мат. наук В. И. Бочаров.

4) ст. инженер Ж. Н. Ветшев,

5) инженер И. И. Нестерова,

6) инженер Б. А. Грохотова,

7) ассистент В. Е. Зеленков,

8) научн. сотрудник В. А. Чеча,

9) ассистент Л. М. Белкина,

10) аспирант А. Ф. Ковалевский,

11) аспирант Н. И. Серебренникова,

12) инженер Ю. Н. Елизарьев,

13) инженер О. М. Нестерова,

14) инженер У. А. Новикова,

15) инженер О. К. Гордеев,

16) инженер Л. Я. Афонина,

17) инженер В. Б. Кашкин.

II. Сибирское отделение АН СССР;

1) зав. лабораторией ионосферных исследований Сиб. ИЗМИРАН (г. Иркутск) член-корреспондент АН Туркменской ССР, канд. физ.-мат. наук Н. М. Ерофеев.

2) мл. научный сотрудник лаборатории ионосферных исследований Сиб. ИЗМИРАН Э. С. Казимировский,

3) зав. лабораторией распространения радиоволн Института радиофизики и электроники Сиб. отд. АН СССР, канд. техн. наук Н. И. Кабанов (г. Новосибирск).

III. Академия наук Казахской ССР:

1) зав. сектором ионосферы АН Казахской ССР, доцент, канд. физ.-мат. наук М. П. Рудина (г. Алма-Ата).

IV. Академия наук Туркменской ССР:

1) зав. ионосферной волновой лабораторией физико-технического института АН Туркменской ССР, канд. физ.-мат. наук Г. Г. Джемилев (Ашхабад).

Всего в совещании приняли участие 22 человека.

На совещании были заслушаны и обсуждены сообщения о ходе и плане научно-исследовательских работ по ионосфере, земному магнетизму и распространению радиоволн:

1) зав. ионосферной лабораторией СФТИ доц. А. И. Лихачева,

2) зав. ионосферно-волновой лабораторией Ашх. ФТИ, АН Туркм. ССР, канд. физ.-мат. наук Г. Г. Джемилева,

- 3) зав. сектором ионосферы АН Каз. ССР доц. М. П. Рудиной,
- 4) зав. лабораторией распространения радиоволн ИРЭ Сиб. отд. АН СССР, канд. техн. наук Н. И. Кабанова,
- 5) зав. лабораторией ионосферных исследований Сиб. ИЗМИРАН, чл.-корр. АН СССР, канд. физ.-мат. наук Н. М. Ерофеева.

Участниками совещания был проведен научный симпозиум по проблемам радиофизических методов исследования ионосферы и распространения радиоволн.

Совещание приняло следующие рекомендации по координации научно-исследовательских работ по ионосфере, земному магнетизму и распространению радиоволн в Сибири, Казахской ССР и Туркменской ССР.

Рекомендации совещания

1. Провести под руководством Сиб. отд. АН СССР в гор. Новосибирске в январе—феврале 1962 года расширенное совещание по ионосфере, земному магнетизму и распространению радиоволн с обсуждением следующих вопросов:

- а) утверждение рекомендации по плану работ на 1962—1965 годы;
- б) научный симпозиум по проблемам связи динамики ионосферы и динамики атмосферы в целом;
- в) методы статистической обработки материалов ионосферных наблюдений и участие в этих работах вычислительных центров Сиб. отд. АН СССР, АН Каз. ССР и ТГУ.

2. Организовать комплексное исследование закономерностей возвратного наклонного зондирования ионосферы на основе эффекта Кабанова с участием ионосферных лабораторий Сибири (СФТИ, Сиб. ИЗМИРАН, ИРЭ) и Средней Азии (Алма-Ата, Ашхабад).

3. В целях внедрения результатов проводимых уже ионосферных исследований в практику распространения радиоволн как на территории Казахстана, так и за пределами республики и оказания помощи Министерству связи в дальнейшем обеспечении бесперебойной связи как за счет ионосферного рассеяния, так и за счет эффекта Кабанова Н. И., считать необходимым организацию при секторе ионосферы АН Каз. ССР научных исследований по распространению радиоволн за счет рассеяния (по договорной тематике с Министерством связи СССР) на базе Алма-Атинской ионосферной станции.

4. Просить президиум АН Каз. ССР организовать через сектор ионосферы в гор. Семипалатинске в 1962 году круглосуточные ионосферные наблюдения. Просить Томский госуниверситет (ионосферную лабораторию СФТИ) выделить в гор. Семипалатинск действующую ионосферную станцию.

5. Совещание считает совершенно необходимым организацию подготовки кадров для учреждений, ведущих исследования в области ионосферы и распространения радиоволн, в вузах Сибири и Дальнего Востока.

В связи с острой необходимостью в кадрах указанного профиля (именно в ближайшие годы) войти с ходатайством в МВО СССР об увеличении выпуска специалистов по специальности „физика ионосферы и распространению радиоволн“ в Томском и Иркутском госуниверситетах—до 25 человек в год.



СОДЕРЖАНИЕ

В. Н. Кессених — Некоторые вопросы связи динамики ионосферы с динамикой атмосферы в целом	3
Ю. Н. Елизарьев — Результаты вертикального зондирования ионосферы в Томске за 1960 год	9
О. К. Гордеев — Спокойные солнечносуточные вариации магнитного поля в Томске	27
В. А. Чеча, В. Е. Зеленков — Измерения дрейфов в слое F_2 1960 г. в Томске	31
Б. А. Грохотова — Результаты измерения поглощения радиоволн в Томске	34
Ю. Н. Елизарьев, Н. И. Серебренникова — Ионосферные наблюдения в Томске во время солнечного затмения 15 февраля 1961 года	38
А. И. Лихачев — Явление ограничения роста ионизации в слое F_2	44
Ю. Н. Елизарьев — О годовом ходе скорости нарастания ионизации области F_2 в первую половину дня	49
Н. И. Серебренникова — Профили электронной концентрации слоя ионосферы по данным Томской ионосферной станции	55
А. И. Лихачев — Аномалия годового хода слоя F_2 , как функция поступления солнечной радиации в атмосферу Земли	62
А. И. Лихачев — О связи приращения дневной ионизации слоя F_2 с поступлением солнечной энергии в атмосферу	68
М. П. Рудина — О связи ионосферного поглощения радиоволн с магнитной активностью	72
М. П. Рудина — Поглощение радиоволн в ионосфере и солнечная активность	75
Т. С. Голованова, В. И. Бочаров — Некоторые статистические характеристики отражений от метеорных следов при рассеянии «вперед»	82
А. Ф. Ковалевский — К вопросу о механизме геомагнитных эффектов крупных взрывов	87
М. П. Рудина, Б. А. Грохотова — Скорость вертикального дрейфа в области F_2 и число столкновений по данным измерения коэффициента отражения	92
В. И. Бочаров, О. К. Гордеев — Об одном методе снятия диаграмм направленности антенн с помощью вертолета	98
Ж. Н. Вётшев — Измерение флуктуаций разности фаз рассеянных радиоволн при приеме на разнесенные антенны	103
Ж. Н. Вётшев, В. И. Бочаров, Л. Я. Афонина — Экспериментальное исследование статистических свойств сигнала при ионосферном распространении на частотах, превышающих предельную частоту по отражению	109
М. П. Рудина, Е. Н. Еременко — К вопросу о тройном расщеплении сигнала в F области	120
Отчет о совещании по координации научно-исследовательских работ	124

Технический редактор М. И. Волкова

Корректоры М. И. Сваровская, Г. И. Ружицкая

К301433. Сдано в набор 14/II-62 г. Подписано к печати 23/VIII-62 г.
Бумага $70 \times 108^{1/16}$. Объем 7,9 печ. л. + 14 вклеек; 3,9 бум. л., 10,8 уч.-изд. л.
Заказ 836. Тираж 500 экз. Бесплатно.

Издательство Томского университета, пр. Ленина, 34.
Типография № 1 Полиграфиздата, Томск, Советская, 47.

Бесплатно.

Томский государственный университет 1878



Научная библиотека 00979486