

Я. Л. АЛЬПЕРТ: «СПУТНИК-1» И ПЕРВЫЙ СПУТНИКОВЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

В. Д. Кузнецов, В. М. Синельников, С. Н. Альперт

ВВЕДЕНИЕ

Первый в мире научный космический эксперимент проведён в 1957 г. во время полёта первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) — «Спутника-1». Это был ионосферный эксперимент ИЗМИРАН, выполненный под руководством профессора Я. Л. Альперта.

В эксперименте по зарегистрированным вариациям «радиовосхода» и «радиозахода» сигналов спутника определено распределение электронной концентрации во внешней области ионосферы (на высотах выше главного максимума). Эксперимент продемонстрировал возможности спутникового радиомаякового метода, который в настоящее время широко используется в исследованиях ионосферы Земли и планет.

В статье представлены история и результаты этого эксперимента, а также показан выдающийся вклад Я. Л. Альперта в науку исследований ионосферы.

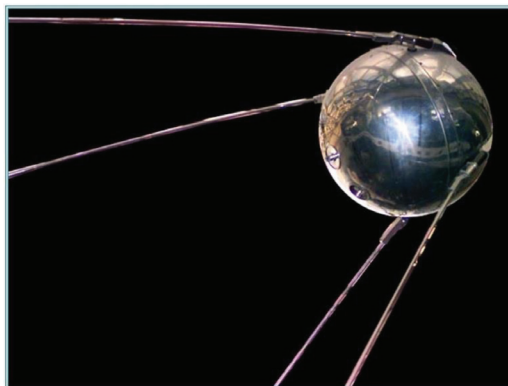
Приведены выдержки из опубликованных воспоминаний Я. Л. Альперта, которые проясняют детали появления вышеупомянутой первой научной публикации по данным наземных регистраций сигналов «Спутника-1».

Метод и результаты анализа данных «радиовосхода» и «радиозахода» сигналов «Спутника-1», опубликованные в журналах «Доклады Академии наук» и «Успехи физических наук» [Альперт и др., 1958], представлены в сокращённом виде.

В заключение статьи дан краткий обзор научной биографии Я. Л. Альперта. Яков Львович Альперт был одним из известнейших и признанных в научном мире радиофизиков, автором фундаментальных научных работ и классических монографий по теории распространения электромагнитных волн, взаимодействию искусственных тел с ионосферной плазмой, по использованию спутниковых радиомаяковых методов для исследования ионосферы.

1. ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ Я. Л. АЛЬПЕРТА [ALPERT, 2000]

«...4 октября 1957 года на орбиту вокруг Земли был выведен первый искусственный спутник. На следующий день мне позвонил вице-президент Академии наук В. А. Котельников. Он сказал „...Вы знаете, что «Спутник-1» находится на орбите, но мы не имеем по нему науки. Президент Академии Мстислав Келдыш просит Вас подумать о том, какая наука может быть получена от этого спутника“. В ответ я попросил несколько дней, чтобы обдумать это предложение. Когда я положил телефонную трубку, у меня не было никаких идей по поводу того, что можно было бы сделать. Но уже буквально через час я имел ответ.



Первый искусственный спутник Земли

На следующий день я сказал Котельникову, что даже при отсутствии на спутнике специальных приборов мы можем получить важную научную информацию, а именно, данные о высотной структуре ионосферы. Для этого я должен иметь качественные регистрации сигналов радиомаяка «Спутника-1» на сети наземных пунктов. Я также попросил помочь мне с программистом и доступом к вычислительной машине, чтобы выполнить необходимые расчёты. Котельников сказал, что на многих военных приёмных пунктах велись регистрации сигналов «Спутника-1»; эти данные будут собраны и переданы мне. Необходимые расчёты могут быть выполнены на вычислительной машине Института радиотехники и электроники Академии наук, которым руководил сам Котельников.

Этот проект начал реализовываться вскоре после нашего разговора. Участниками работы и соавторами научной публикации были:

- Ф. Ф. Добрякова, сотрудник Института Котельникова, она выполняла на компьютере расчёты эллиптических интегралов по моим формулам;
- Е. Ф. Чудесенко, армейский капитан, отвечал за подборку регистраций сигналов на сети военных пунктов;
- Б. С. Шапиро, моя коллега по ИЗМИРАН, отобрала и обработала данные ионосферных станций.

А теперь я кратко скажу об общей концепции первого научного исследования по данным «Спутника-1». Любое тело, например, искусственный спутник, движущийся на орбите вокруг Земли, становится оптически видимым в пункте наблюдения, расположенном на земной поверхности, когда это тело появляется над горизонтом. Оптическая траектория луча, вдоль которого видно тело, представляет собой практически прямую линию. Затем движущееся на орбите Земли тело становится оптически невидимым, когда траектория луча зрения опускается за горизонт. Траектории радиоволн, излучаемых спутником, искривляются при распространении в ионосфере, которая является, как известно, частично ионизированной плазмой. Эффект рефракции радиоволн становится заметным, поскольку их частота в миллионы раз ниже частоты световых волн.

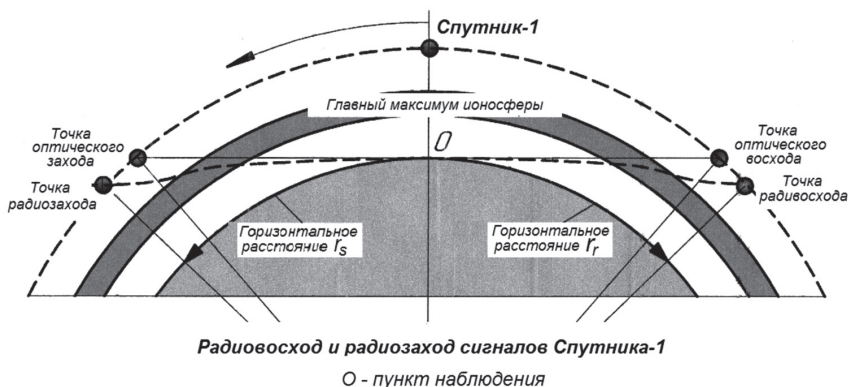


Рис. 1 Геометрия оптического и «радиовосхода/захода» «Спутника-1»

Геометрия оптического и «радиовосхода/захода» «Спутника-1» показана на рис. 1. Кривизна траектории радиоволн начинает проявляться на высотах 60...70 км над поверхностью Земли, становится наибольшей на высотах ~250...350 км и практически исчезает выше 1000...1500 км, где траектории волн становятся практически прямыми линиями. «Радиовосход» спутника предшествует его оптическому восходу над горизонтом, а «радиозаход» спутника происходит позже его оптического захода за горизонт. Величина этого эффекта зависит от степени ионизации ионосферы и, в частности, от высотного распределения плотности свободных электронов и ионов, которые создаются в атмосфере в результате её взаимодействия с ультрафиолетовым излучением Солнца.

Следовательно, для того чтобы рассчитать время восхода и захода радиосигнала, необходимо знать высотное распределение плотности электронов в ионосфере. И наоборот, если известны, по наземным измерениям, времена «радиовосхода» и «радиозахода» сигналов спутника и его местоположение (координаты на орбите), то возможно вычислить некоторые параметры ионосферы, в частности, осреднённое (пространственно-временное) распределение электронной концентрации в ионосфере до высоты спутника.

Это, кратко, то, что было в основе нашего исследования...

2. ОБЗОР ПЕРВОЙ НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА «СПУТНИКОМ-1» [Альперт и др., 1958]

Введение

Первый спутник Земли, как известно, был снабжён автономным радиопередающим устройством, работавшим на частотах в 20 и 40 МГц. Малое поглощение излучавшихся со спутника радиоволн в ионосфере обеспечивало надёжный приём его радиосигналов. Поэтому представилось возможным получить на основе анализа соответствующих результатов радионаблюдений ряд новых данных о свойствах ионосферы.

В статье описывается один из возможных методов наблюдений за радиосигналами спутника, основанный на определении моментов времени его «радиовосхода» и «радиозахода», позволяющий определять распределение электронной концентрации $N(z)$ ионосферы выше максимума. Приводятся предварительные результаты соответствующей обработки экспериментальных данных.

Анализ результатов работы приводит к некоторым важным и интересным представлениям о внешней ионосфере — получены количественные характеристики убывания электронной концентрации, а также некоторые соображения о «границе», где атмосфера соприкасается с межпланетным газом.

Стремление к максимально возможной аккуратности и точности соответствующего анализа, большой объём и некоторая сложность проводимой работы позволили довести до конечных результатов лишь обработку наблюдений, проведённых в нескольких пунктах за первые трое суток полёта «Спутника-1». Число «чистых» экспериментальных точек невелико, но позволяет сделать выводы о наиболее вероятных значениях исследуемой величины. Расширение объёма этих исследований, по-видимому, выявит некоторые общие закономерности, а именно: суточные, географические и высотные зависимости, т. е. позволит изучать морфологию внешней ионосферы. Для этого, однако, потребуется более точное определение используемых при обработке вспомогательных экспериментальных данных ионосферных станций, чем это было достижимо на первом этапе работы. Само собой разумеется, что степень достоверности результатов будет определена лишь в будущих опытах с помощью спутников Земли или высотных ракет, которые позволят измерять основные физические параметры ионосферы другими, более прямыми и точными методами.

Траектория радиоволн в ионосфере. Методика исследований

Допустим, что спутник, излучающий радиоволны на частоте ω , проходит над точкой наблюдения выше максимума электронной концентрации ионосферы N_m (соответствующего максимуму области F_2), критическая частота которой ω_c , как известно, определяется из соотношения

$$\omega_c^2 = (2\pi f_c)^2 = \frac{4\pi e^2}{m} N_m = 3,18 \cdot 10^9 N_m. \quad (1)$$

Примем, что $\omega > \omega_c$.

Тогда в интересующей нас задаче целесообразно рассматривать два типа траекторий распространения волны до точки наблюдения, определяемые соотношениями

$$\frac{\omega_c}{\omega} \leq \frac{\omega_c}{\omega_3} \text{ и } \frac{\omega_c}{\omega} \geq \frac{\omega_c}{\omega_3}, \quad (2)$$

где ω_3 — некоторое предельное значение частоты, смысл которого будет ясен из дальнейшего.

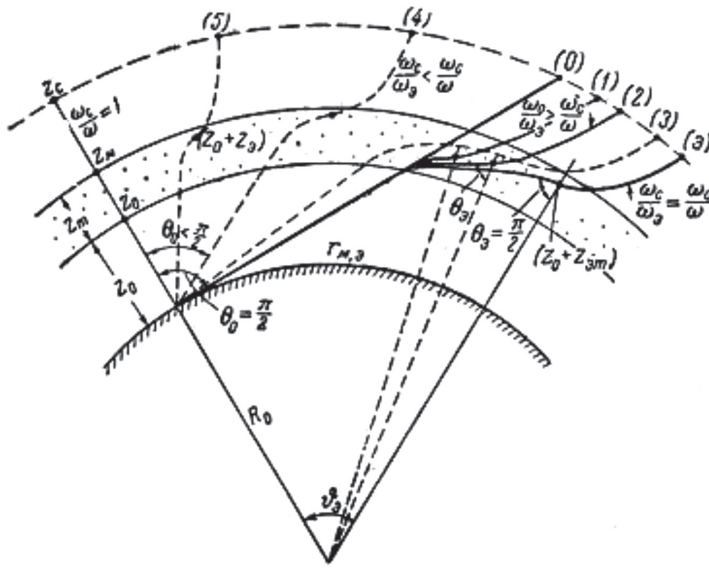


Рис. 2

Если $\omega_c/\omega \ll 1$, то, очевидно, распространение квазиоптическое — максимальная горизонтальная дальность r_m приёма сигнала спутника равна $r_{m0} = R_0 \theta_0$ — расстоянию его оптической видимости, и траектория волны совпадает с прямой, касательной к Земле в точке наблюдения и соединяющей её с точкой излучения (траектория (0) на рис. 2).

В некоторой части нижней ионосферы (область $z_0 \rightarrow z_m$) траектория волны (луч) первоначально прижимается к Земле, т.е. по мере углубления волны в ионосферу угол θ между нормалью к фронту волны и радиус-вектором R , проведённым из центра Земли в соответствующую точку, увеличивается. На некоторой высоте $(z_0 + z_3)$, лежащей ниже высоты $(z_0 + z_m)$ максимума N_m , значение θ становится максимальным и затем уменьшается, а это означает, что луч имеет здесь точку перегиба. Соответствующие значения $(z_0 + z_3)$ и θ_3 зависят от высоты z_0 начала слоя, его полутолщины и отношения ω_c/ω . При заданных z_0 и z_m значения θ_3 и z_3 увеличиваются с увеличением ω_c/ω ; при этом увеличивается также r_m и траектория волны имеет касание в точке наблюдения ($\theta = \pi/2$). Наконец, при значении $\omega = \omega_3$ угол $\theta_3 = \theta_{3m} = \pi/2$, а расстояние $r_3 = r_{3m} = R_0 \theta_3$ соответствует наибольшему из возможных его значений при заданных z_0 и z_m является экстремальным значением максимальных дальностей приёма r_m (кривая (э)). Высота $(z_0 + z_3)$, на которой $\theta_3 = \pi/2$, как и ранее, ниже высоты максимума слоя $(z_0 + z_m)$. При $\omega_3/\omega < \omega_c/\omega_3$, как нетрудно понять, максимальное расстояние r_m соответствует тем траекториям волны, которые также имеют в точке перегиба луча значение $\theta_3 = \pi/2$; однако в точке приёма при этом уже невозможно касание и $\theta_0 < \pi/2$ (кривые (3), (4), (5) на рис. 2). С уменьшением ω высота $(z_0 + z_3)$ увеличивается и достигает высоты максимума слоя $(z_0 + z_m)$, когда $\omega_c/\omega = 1$ и $r_m = 0$; ионосфера становится здесь непрозрачной для волн, излучённых со спутника.

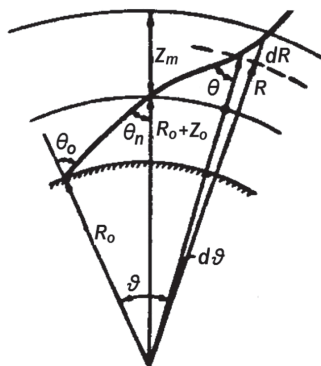


Рис. 3

Использованный в данной работе метод основан на определении из экспериментальных данных максимальных дальностей r_m , соответствующих «радиовосходу» и «радиозаходу» спутника, и сравнении их с рассчитанными теоретически значениями r_m . При этом мы ограничились рассмотрением данных, когда $\omega_s < \omega$, $\theta_0 < \pi/2$ и справедливо приближение геометрической оптики.

В этом случае

$$r_m = R_0 \theta_0 + \int_0^{z_c - z_0} \frac{dz}{1 + (z_0/R_0) + (z/R_0) \sqrt{n^2(z) \left(1 + (z_0/R_0) + (z/R_0)\right)^2 - 1}}, \quad (3)$$

где все обозначения понятны из рис. 3; $n(z)$ — коэффициент преломления.

Для расчёта интеграла необходимо выбрать вид функции $n^2(z)$. В области $z_0 \rightarrow z_m$ хорошей аппроксимацией $n^2(z)$ является парабола, которую можно продолжить условно до $1,2 z_m$. Для внешней части ионосферы, где электронная концентрация падает с высотой, можно выбрать экспоненциальный закон убывания $N(z)$. В итоге выражение (3) разбивается на два интеграла

$$r_m = R_0 \theta_0 + \int_0^{1,2 z_m} \frac{\sin \theta_0 dz}{\left(1 + (z_0/R_0) + (z/R_0)\right) \sqrt{n_1^2(z) \left(1 + (z_0/R_0) + (z/R_0)\right)^2 - \sin^2 \theta_0}} +$$

$$+ \int_{1,2 z_m}^{z_s - z_0} \frac{\sin \theta_0 dz}{\left(1 + (z_0/R_0) + (z/R_0)\right) \sqrt{n_2^2(z) \left(1 + (z_0/R_0) + (z/R_0)\right)^2 - \sin^2 \theta_0}}, \quad (4)$$

где

$$n_1^2(z) = 1 - \frac{2\omega_c^2}{\omega^2} \frac{z}{z_m} + \frac{\omega_c^2}{\omega^2} \frac{z^2}{z_m^2}; \quad n_2^2(z) = 1 - 0,96 \frac{\omega_c^2}{\omega^2} \exp[-\chi(z - 1,2 z_m)]. \quad (5)$$

Интегралы в выражении (4) эллиптического типа и рассчитывались нами численными методами (с помощью вычислительной машины БЭСМ) для различных значений z_0 , z_m , z_c и ω_c/ω .

Анализ и результаты наблюдений

При непрерывном наблюдении за радиосигналами спутника отмечались моменты времени их появления и исчезновения. По баллистическим данным для этих моментов определялись высота спутника, координаты точки на Земле, над которой он пролетал, и его горизонтальная дальность r_m . После этого, с помощью построенных специально для этих исследований (по данным ионосферных станций) карт изолиний критических частот f_c (рис. 4) и карт высот начала z_0 и максимума z_m области F_2 ионосферы определялись для каждого выбранного из результатов наблюдений момента времени значения этих параметров в трёх областях: над точкой наблюдения (1), над точкой (2) входа луча в область F и в точке (4), над которой находился спутник (рис. 5).

Указанные карты были построены для нижней части ионосферы по фактическим данным наблюдений сети ионосферных станций, а в мало освещённых этими данными областях ход изолинии экстраполировался по кривым ожидаемого их хода по данным ионосферы за предыдущее время и по картам прогноза этих величин.

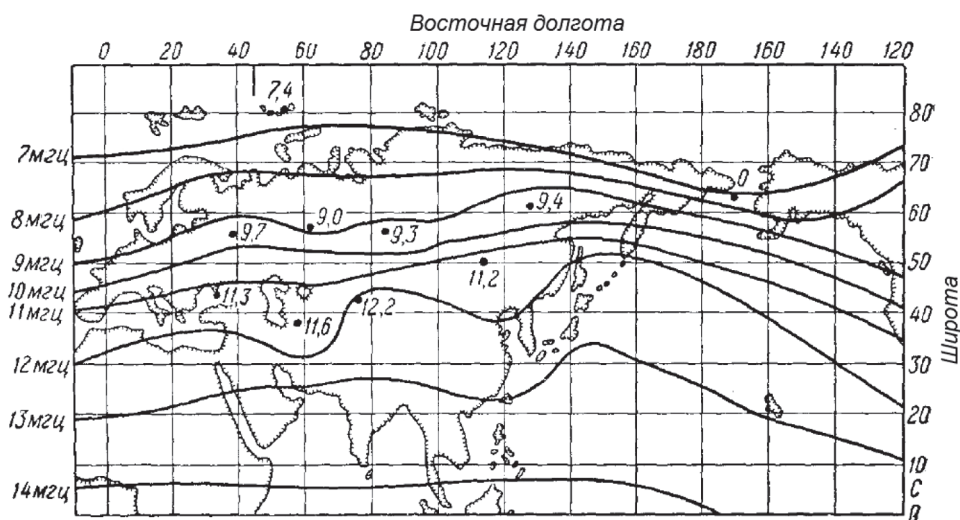


Рис. 4

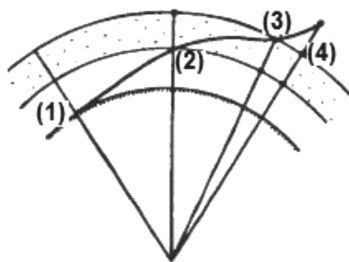


Рис. 5

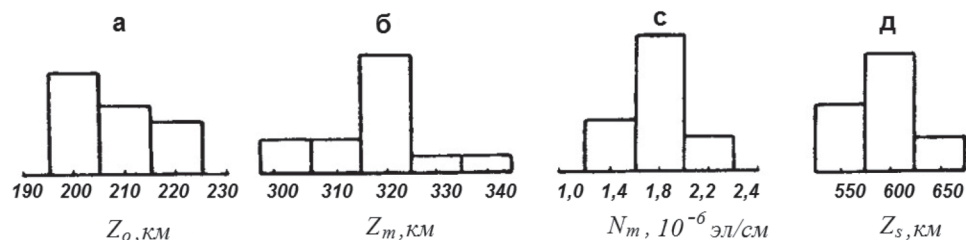


Рис. 6

Дальнейшая обработка экспериментальных данных состояла в следующем. Теоретически были рассчитаны максимальные дальности приёма r_m и горизонтальные дальности r_1 и r_2 , соответственно, прохождения волны в нижней (область $z_0 \rightarrow z_m$) и внешней (область $z_m \rightarrow z_c$) частях ионосферы для различного набора комбинаций параметров f_c , z_0 , z_m и z_c , а также для различных значений параметров χ , эффективным образом характеризующих убывание электронной концентрации выше максимума N_m ионосферы.

Нижняя часть ионосферы аппроксимировалась параболической зависимостью $N(\xi)$, хорошо описывающей высотный ход электронной концентрации ионосферы в спокойном состоянии в той её части, которая участвует в распространении коротких волн, использованных на спутнике. Численные расчёты весьма громоздки и проводились с помощью электронно-вычислительной машины БЭСМ.

Далее, из сравнения экспериментальных значений r_m с теоретическим ходом зависимости r_m от χ для выбранных z_0 , z_m и ω_c выбиралось значение χ , которое и определяло для соответствующего момента наблюдений эффективный ход убывания электронной концентрации выше максимума N_m ионосферы $N \approx N_m \exp[-\chi(z_c - z_m)]$.

Нами рассмотрены результаты приёма радиосигналов спутника лишь за 5, 6 и 7 октября. Во всей совокупности данных (около 600 моментов начала и окончания приёма сигналов) только примерно в 60–70 случаях выполнялись условия, когда не было сложных траекторий волны на частоте 40 МГц и наблюдался «радиовосход» и «радиозаход» спутника в чистом виде, когда $\omega_c/\omega < \omega_c/\omega_3$ или $\omega_c/\omega \geq \omega_c/\omega_3$. При более детальном анализе этих данных оказалось, что иногда слышимость обрывалась по неизвестной причине на более коротких расстояниях. И, наоборот, в некоторых случаях при имевшем место отношении частот $\omega_c/\omega < \omega_c/\omega_3$ дальность приёма превышала на несколько сот км максимальные теоретически возможные расстояния. Создаётся впечатление, что в некоторых сеансах это было обусловлено тем, что траектория волны была скользящей.

Параметры, характеризующие выбранные экспериментальные точки, которые подверглись дальнейшей теоретической обработке, распределялись, как это показано на рис. 6.

Из гистограмм рис 6а, б видно, что высоты z_0 и z_m начала и максимума области F_2 ионосферы изменялись в пределах 200...220 км и 300...360 км, соответственно; при этом, наиболее часто наблюдались значения $z_0 \approx 200$ км и $z_m \approx 320$ км. Электронная концентрация в максимуме слоя,

аналогичным образом, наиболее часто была равной $\sim(1,4...2,2) \cdot 10^6$ эл/см³, а высота спутника изменялась в пределах 550...650 км. Моменты времени использованных наблюдений колебались в пределах 07:40–09:40 местного времени, а широты этих точек, соответственно, были равны $\sim(20...45)^\circ$ с. ш.

Таким образом, видно, что по всем параметрам экспериментальные данные характеризуются достаточной для подобного типа величин однородностью и что дальнейшие выводы относятся к довольно узким интервалам времени суток и географической широты.

Электронная концентрация во внешней ионосфере

Будем исходить из того, что выше максимума N_m электронной концентрации ионосферы, т.е. в области высот $z \approx 320...600$ км внешней её части, убывание электронной концентрации в рассматриваемый период наблюдений описывается (в среднем) формулой

$$N \approx N_m \exp[-\chi(z - z_m)] = 1,8 \cdot 10^6 \exp[-3,5 \cdot 10^{-3}(z - 320)], \quad (6)$$

где численные значения параметров взяты из данных, приведённых на рис. 6. На высотах 500...600 км и выше мы попадаем в область так называемой экзосферы. Здесь температура газа не должна уменьшаться по сравнению с температурой на более низких уровнях и состояние ионизации близко к квазистационарному, поскольку время жизни электронов достигает 10^5 с. Поэтому, допуская, что при $z > 600$ км сохраняется тот же темп убывания электронной концентрации, что и в области более низких высот, получаются значения N_e во внешней ионосфере, приведённые на рис. 7 (сплошная кривая). На этом рисунке также нанесены две точки, соответствующие значениям N_e , измеренным при запуске высотной ракеты (см. газету «Правда» от 27.03.1958 г.).

Кроме того, пунктиром нанесено распределение $N(z)$, построенное нами для экспоненциальной модели внешней ионосферы по результатам статьи (*Evans J. V. The electron content of the ionosphere // Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 1957. V. 11. No. 3/4. P. 259*). В этой работе по отражению радиоволн от Луны определялось отношение интегрального количества электронов выше максимума ионосферы к интегральному количеству электронов в нижней части слоя. Основной вывод автора состоит в том, что это отношение $\sim 3:1$ и мало изменяется.

В рассчитанной нами модели внешней ионосферы это отношение $\sim 3,6:1$. Видно, что приведённые результаты дают примерно одну и ту же модель внешней ионосферы, по-видимому, мало зависящую от времени суток, сезона и т. п.

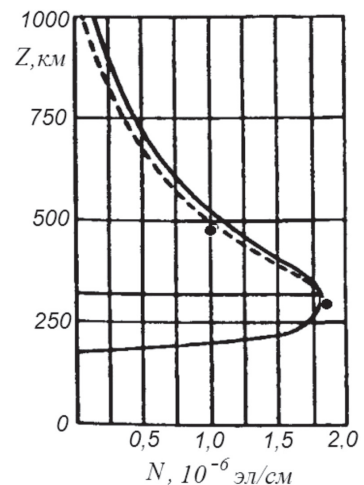


Рис. 7

Полученные выводы имеют фундаментальное значение для физики внешней ионосферы — экзосферы, что в ещё большей мере усиливает необходимость дальнейшей проверки результатов настоящей работы и их анализа.

III. Я. Л. АЛЬПЕРТ. НАУЧНАЯ БИОГРАФИЯ

Научная деятельность Я. Л. Альперта охватывает теоретические и экспериментальные исследования в различных областях радиофизики и физики плазмы. Она включала исследования распространения электромагнитных волн в ионосфере, магнитосфере и волноводе Земля-ионосфера, а также изучение физической природы и структуры ионосферы. С самого начала спутниковой эры он занимался исследованием ионосферы и магнитосферы с помощью космических аппаратов.

Я. Л. Альперт вошёл в историю науки как автор первого научного космического эксперимента, реализованного в ходе полёта Первого искусственного спутника Земли.

Я. Л. Альперт начал научную карьеру прежде, чем завершил университетское образование (в Московском университете учился заочно и окончил его с отличием в 1939 г.). В 1935 г. Я. Л. Альперт был принят в Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР и в течение нескольких лет работал под руководством академиков Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси, изучая распространение радиоволн вдоль поверхности Земли. В то время особое внимание уделялось исследованиям фазовой структуры, дисперсии и скорости распространения радиоволн вблизи Земли. Для этого Я. Л. Альперт создал специальный фазовый интерферометр.



Яков Львович Альперт (1986)

Проведённые им измерения как на поверхности Земли, так и с аэростата, имели принципиальное значение. В 1941 г. он получил научную степень кандидата наук.

В 1944 г. Я.Л. Альперт начал исследование тонкой структуры ионосферы. Для этой цели им была создана уникальная ионосферная станция, позволяющая отслеживать отдельно отражённые от ионосферы импульсы обыкновенной и необыкновенной волн. Для интерпретации этих результатов им был разработан специальный статистический метод анализа принимаемых сигналов. В результате впервые была построена картина мелкомасштабной структуры ионосферы. Та же станция была использована для наблюдения ионосферы во время солнечного затмения 9 июля 1945 г. Я.Л. Альперт обнаружил, что затмение идущих от Солнца корпускулярных потоков вызывает возмущение распространения радиоволн. Сравнивая время наблюдения этих возмущений со временем оптического затмения, он определил скорость корпускулярных потоков $\sim 400\ldots 500$ км. Фактически этот результат был первым измерением скорости солнечного ветра! Именно Солнечный Ветер определяет структуру магнитосферы и физические процессы в полярной ионосфере Земли.

В 1947 г. Я.Л. Альперт опубликовал свою первую монографию «Распространение радиоволн в ионосфере» [Альперт, 1947]. В 1948 г. он получил учёную степень доктора физико-математических наук. В научной рецензии на диссертацию академик М.А. Леонтович написал: «...в области физики ионосферы Я.Л. Альперт, по моему мнению, является ведущим специалистом в СССР. Он автор детальной монографии по этим вопросам и многих других важных работ».

В 1951 г. плодотворная научная деятельность Я.Л. Альперта в Физическом институте была прервана: в ходе антисемитской кампании «борьбы с космополитизмом» он был уволен из института без объяснения причин.

С 1952 г. Я.Л. Альперт работает в Научно-исследовательском институте земного магнетизма (НИИЗМе). Этот институт впоследствии — при активном участии Альперта — был переведён в Академию наук как Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн (ИЗМИРАН).

В 1953 г. опубликована монография «Распространение радиоволн» (в соавторстве с В.Л. Гинзбургом и Е.М. Фейнбергом) [Альперт и др., 1953], ставшая настольной книгой для целого поколения исследователей ионосферы и ионосферного распространения радиоволн.

В ИЗМИРАН Я.Л. Альперт в течение 35 лет возглавлял отдел физики приземной плазмы. Здесь он создаёт прекрасную группу высококвалифицированных молодых специалистов. Под научным руководством Я.Л. Альперта проводятся важные измерения распространения радиоволн низких и сверхнизких частот. Им развита теория распространения этих волн в волноводе, образованном земной поверхностью и ионосферой. Эксперименты позволили измерить скорость распространения радиоволн в таком волноводе в широком интервале частот. Были детально исследованы также «свистящие атмосферерики», распространяющиеся в магнитосфере.

Сразу же после запуска первого ИСЗ Я.Л. Альперт начал исследование ионосферы с помощью сигналов радиомаяков космических аппаратов. Используя точные времена «радиовосхода» и «радиозахода» спутника, он установил закон убывания плотности ионосферы выше ионосферного максимума. В последующие годы в рамках космических программ КОСМОС и ИНТЕРКОСМОС много внимания Я.Л. Альперт уделял развитию доплеровских методов дистанционного зондирования ионосферы с использованием когерентных сигналов радиомаяков космических аппаратов. Эти методы и в настоящее время активно используются; они легли в основу глобальных спутниковых систем позиционирования GPS и ГЛОНАСС (Global Positioning System и Глобальная навигационная спутниковая система). В 1974 г. под патронажем Международного Радио Союза (URSI) в ИЗМИРАН проходит Международный симпозиум “Radio Beacon Investigation of the Ionosphere by Satellites”. Это было признанием заслуг Я.Л. Альперта в этой области науки.

В 1962 г. Я.Л. Альперт публикует монографию «Распространение радиоволн и ионосфере», а в 1972 г. — второе, переработанное и дополненное издание этой монографии [Альперт, 1972].

Я.Л. Альперт инициировал теоретическое исследование возмущений ионосферной плазмы при движении космических аппаратов. В результате были заложены основы «ионосферной аэродинамики», которая является аналогом обычной гидродинамики для случая движения тел в разреженных ионизированных газах. В 1964 г. издана монография «Искусственные спутники в разреженной плазме» [Альперт и др., 1964]. Это была первая в мире монография на весьма новую в то время тему, и поэтому уже в следующем году она была переиздана на английском языке [Alpert et al., 1965].

Как крупнейший специалист мирового класса в области распространения радиоволн, Я.Л. Альперт принимал участие в качестве эксперта в Женевских переговорах по ограничению стратегических вооружений (ОСВ).

В 1974 г. Я.Л. подал заявление на выезд из СССР. Вплоть до разрешения на выезд, полученного лишь через 13 лет, в 1987 г., Я.Л. упорно и плодотворно трудился практически в домашних условиях. За это время он полностью переработал свою классическую монографию «Распространение радиоволн и ионосфера», почти удвоив её объём. Кроме того, он провёл широкий круг теоретических исследований распространения радиоволн низких и сверхнизких частот. Эти работы получили широкое международное признание. В 1978 г. на Конгрессе URSI (International Union for Radio Science) в Хельсинки была организована специальная сессия «30 лет исследований распространения радиоволн сверхнизких частот: Дань уважения профессору Якову Альперту».

После отъезда из СССР Я.Л. Альперт поселился в США, в Бостоне, работал в Гарвард-Смитсоновском центре астрофизики (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, CfA). Его последняя научная публикация [Alpert, 2001] совпала с важной датой в его жизни — 1 марта 2001 г. Якову Львовичу исполнилось 90 лет.

Я.Л. Альперт имел много учеников. Ещё большему числу молодых людей он оказывал поддержку советами, да и всем чем мог, особенно в труд-

ные годы их жизни. Он всегда старался привлечь к работе талантливую молодёжь и по-отечески о ней заботился. И сейчас его имя по праву среди основоположников ИЗМИРАН.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ Я.Л. АЛЬПЕРТА

- [Альперт, 1947] *Альперт Я.Л.* Распространение радиоволн в ионосфере. М.: Гостехиздат, 1947. 276 с. ISBN: 978-5-458-57654-3.
- [Альперт, 1960] *Альперт Я.Л.* Распространение радиоволн и ионосфера. М.: Наука, 1960. 480 с.
- [Альперт, 1972] *Альперт Я.Л.* Распространение радиоволн и ионосфера. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1972. 564 с.
- [Альперт и др., 1953] *Альперт Я.Л., Гинзбург В.Л., Фейнберг Е.М.* Распространение радиоволн. М.: Гостехиздат, 1953. 884 с.
- [Альперт и др., 1958] *Альперт Я.Л., Добрякова Ф.Ф., Чудесенко Э.Ф., Шапиро Б.С.* О результатах определения электронной концентрации внешней области ионосферы по наблюдениям за радиосигналами первого спутника Земли (представлено академиком В.А. Котельниковым 31.03.1958 г.) // Доклады Академии наук СССР. 1958. Т. 120. № 4. С. 743–746.
- [Альперт и др., 1958] *Альперт Я.Л., Добрякова Ф.Ф., Чудесенко Э.Ф., Шапиро Б.С.* О некоторых результатах определения электронной концентрации внешней области ионосферы по наблюдениям за радиосигналами первого спутника Земли // Успехи физических наук. 1958. Т. 65. № 2. С. 161–174.
- [Альперт и др., 1964] *Альперт Я.Л., Гуревич А.В., Пятаевский Л.П.* Искусственные спутники в разреженной плазме. М.: Наука, 1964. 382 с.
- [Альперт и др., 1967] *Альперт Я.Л., Гусева Э.Г., Флигель Д.С.* Распространение низкочастотных электромагнитных волн в волноводе Земля-ионосфера. М.: Наука, 1967. 123 с.
- [Alpert, 2000] *Alpert Ya. L.* Making waves: stories from my life. New Haven: Yale Univ. Press, 2000. P. 162. ISBN 0-300-07821-8.
- [Alpert, 2001] *Alpert Ya. L.* Resonance nature of the magnetosphere // Physics reports (Amsterdam [u.a.]: Elsevier Science, North-Holland). 2001. V. 339. No. 5. P. 323–344.
- [Alpert et al., 1965] *Alpert Ya. L., Gurevich A. V., Pitayevsky L. P.* Space Physics with Artificial Satellites. N. Y.: Consultants Bureau, 1965. 352 p.

YA. L. ALPERT: SPUTNIK-1 AND THE FIRST SATELLITE EXPERIMENT

V. D. Kuznetsov, V. M. Sinelnikov, S. N. Alpert