

## **РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЕТРОВ В ВЫСОКИХ СЛОЯХ АТМОСФЕРЫ**

В настоящее время не вызывает сомнений, что общая циркуляция воздушных масс в земной атмосфере не ограничивается приземными слоями, а захватывает области, отстоящие от них на десятки и даже сотни километров. Поэтому изучение ветров в высоких слоях атмосферы представляет собой одну из важнейших проблем современной метеорологии.

Вместе с тем возможности различных методов изучения ветров на больших высотах, сводящихся к наблюдению движения разнообразных объектов, более или менее случайно попадающих в эти слои (видимые метеорные следы, серебристые облака, дымы от разрыва артиллерийских снарядов и пр.), весьма ограничены и спорадически получаемые с их помощью сравнительно скудные данные в основном относятся к высотам, не превышающим 110—120 км<sup>1</sup>.

Поэтому появление новых методов, дополняющих имеющиеся и расширяющих доступный для изучения диапазон высот, имеет существенное значение.

Особенно привлекательными представляются попытки использовать для этой цели радиофизические методы, успешно доказавшие уже свою плодотворность при изучении ряда других явлений в высоких слоях атмосферы. Помимо прочих достоинств, они имеют то важное с метеорологической точки зрения преимущество, что могут обеспечить регулярность и систематичность наблюдения. Такого рода попытки определения движения воздушных масс (точнее, электронных облаков) в области ионосферы

путём наблюдения отражения от неё сигналов, посылаемых с земной поверхности, предпринимались неоднократно (см., например, <sup>2, 3, 4</sup>). Общая идея этих измерений основана на предположении, что движение всевозможных иррегулярностей в строении ионосферных слоёв обусловлено в основном движением воздушных масс и правильно отражает характер этого движения.

Практическое осуществление таких измерений может быть самым разнообразным, в соответствии с разнообразием характера самих наблюдаемых неоднородностей (от крупных «полей» диаметром в сотни километров до мелких «облачков» размером всего в несколько десятков метров. В частности, объектами наблюдения могут быть и метеорные следы, причём скорость их перемещения может измеряться с помощью радиолокационных устройств, например, по эффекту Доплера <sup>5</sup>).

Некоторые результаты, полученные таким путём, приведены в таблице.

Развитие радиоастрономии позволило разработать несколько иной метод определения направления и скорости ветров в области слоя  $F_2$ , обладающий, повидимому, рядом существенных преимуществ и свободный от некоторых непреодоленных пока трудностей в интерпретации наблюдательных данных, стоящих на пути развития названных выше методов и лишаящих полученные с их помощью результаты необходимой степени достоверности.

Отличие этого метода состоит в том, что вместо земных источников радиоизлучения используются внеземные источники (радиозвёзды), т. е. измерения ведутся не с отражённым, а с проходящим через ионосферу излучением.

Как известно, излучение радиозвёзд подвержено ярко выраженным флуктуациям <sup>6</sup>. На частоте 80 *Мгц* средняя длительность отдельной флуктуации составляет обычно около 0,5 сек., а глубина модуляции достигает 40%.

Характер корреляции флуктуаций, наблюдаемых на приёмных станциях, разнесённых на различные расстояния, показывает, что в основном эти флуктуации представляют собой явление аналогичное мерцанию видимых звёзд и обусловлены влиянием земной атмосферы. В настоящее время можно считать общепризнанным, что они являются следствием, дифракции на неоднородностях  $F$ -слоя ионосферы, причём размеры этих неоднородностей близки к 4—5 *км*<sup>3, 4</sup>. В пользу такого взгляда свидетельствует тесная корреляция между флуктуациями излучения радиозвёзд и изменениями спорадического слоя  $F_2$ , наблюдаемыми обычными методами.

Если исходить из представления, что структура слоя, на котором диффрагирует приходящее от радиозвезды излучение, меняется сравнительно медленно, и что флуктуации обусловлены главным образом перемещением дифракционной картины относительно приёмника (т. е. дрейфом спорадического слоя  $F_2$ ), то становится очевидной возможность простого определения скорости этого дрейфа.

Допустим, что несколько одинаковых приёмных устройств расположены на малых (порядка нескольких километров) расстояниях друг от друга. Тогда, в случае справедливости исходного предположения, флуктуации, воспринимаемые на станциях, расположенных вдоль линии дрейфа, должны быть идентичны, но сдвинуты во времени, причём величина временного сдвига элементарным образом связана со скоростью дрейфа. Согласно наблюдениям (см., например, <sup>9</sup>) такая идентичность флуктуационных кривых, получаемых на соседних приёмных станциях, и относительный сдвиг этих кривых во времени, действительно имеют место, причём величина временного сдвига достаточно велика и легко поддаётся измерению.

Некоторые результаты радиофизических измерений скорости ветра на различных высотах

Примерная высота км	Горизонтальные размеры неоднородностей	Скорость дрейфа м/сек	Скорость вертикаль- ного пере- мещения м/сек	Направление	Место наблюдения
250	500 км	100	—	Преимущественно на восток *)	Австралия и Германия
250	100—500 км	35—350	—	На восток	США
250	200 м	80	1	Ночью преимущественно на запад *)	Англия
100	200 м	80	1	Днём преимущественно на восток	Англия и США
80—100	Метеорные следы	50—70	25	Преимущественно на северо-восток или юг *)	Англия и США

\* Иногда наблюдались быстрые изменения направления ветра (вплоть до обращения направления). В некоторых случаях, возможно, это обуславливалось изменением эффективной высоты отражения сигнала.

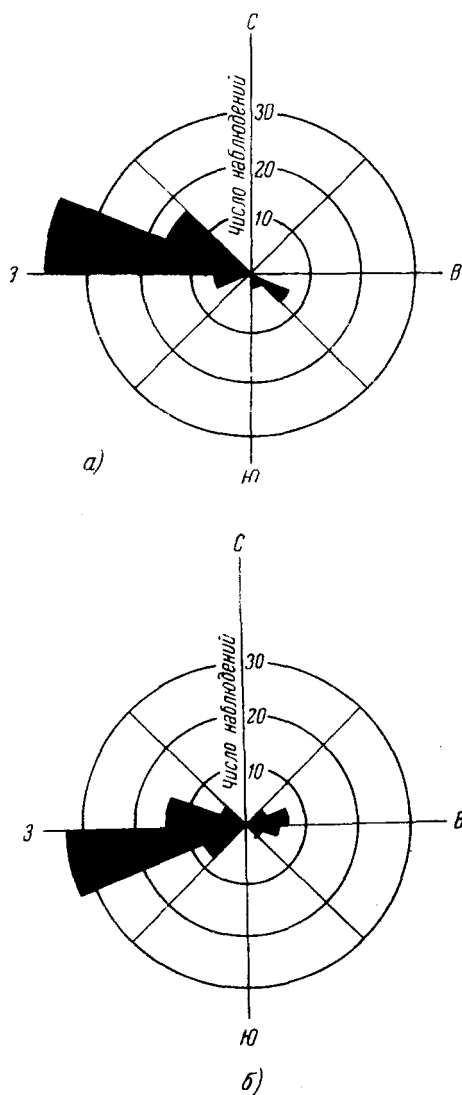


Рис. 1. Розы ветров в области ионосферного слоя  $F_2$ , полученные из измерений флуктуаций излучения радиозвёзд на частоте 80 Мгц.

*а* — май — июнь 1951 г.; 60° сев. шир.; *б* — сентябрь — октябрь 1951 г.; 53° сев. шир.

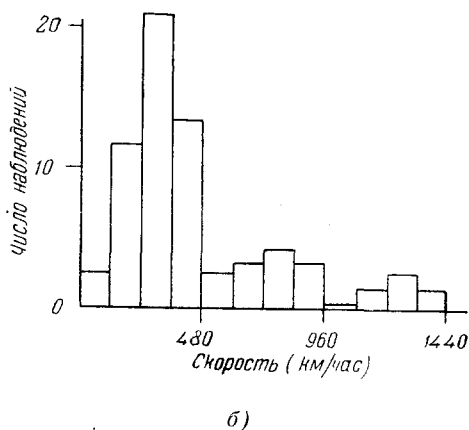
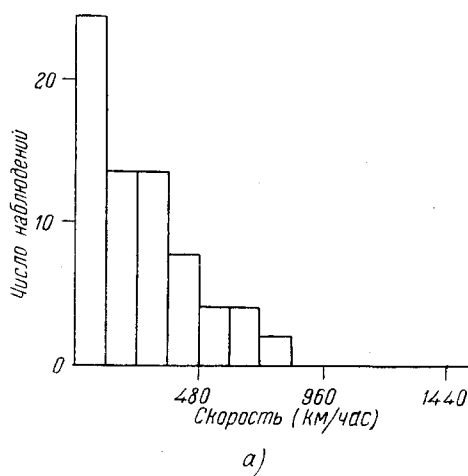


Рис. 2. Гистограммы скоростей ветров, в области ионосферного слоя  $F_2$ .

а — май — июнь 1951 г.; б — сентябрь — октябрь 1951 г.

Подобные измерения<sup>7,8</sup>, проведённые в 1949—1950 гг. на волнах 3,7 и 6,7 м с помощью двух станций, разнесённых на несколько километров, показали, что в области спорадического слоя  $F_2$ , (т. е. на высотах  $> 300$  км) господствуют ветра, дующие в основном на запад со скоростями порядка 100 м/сек.

Авторы реферируемой работы<sup>9</sup> продолжили и развили эти измерения. При этом для более точного определения направления и скорости дрейфа они использовали три станции, расположенные треугольником и отстоявшие друг от друга на расстоянии 4 км. Объектом наблюдений служило излучение наиболее ярких радиозвёзд, принадлежащих созвездиям Лебедя и Кассиопеи. При обработке данных вводилась поправка на видимое движение звёзд, обусловленное вращением Земли.

Поскольку флуктуации порождаются спорадическим слоем  $F_2$ , они наблюдаются преимущественно в ночное время. Соответственно этому наблюдения велись между 18<sup>00</sup> и 01<sup>00</sup> по местному времени. Было проделано две серии наблюдений. Одна из них (а) охватывала май—июнь 1951 г. (72 измерения за 13 ночей), другая (б) относилась к сентябрю—октябрю 1951 г. (65 измерений за 18 ночей). Существенное различие условий состояло также в том, что в первом случае радиозвёзды находились недалеко от северного горизонта, вследствие чего измерения относились к области, отстоящей примерно на 800 км на север от места наблюдения (т. е. примерно к 60° северной широты). Во втором же случае радиозвёзды располагались вблизи зенита и результаты относились к широте, близкой к 53°.

Результаты измерений показаны на рис. 1 и 2. Они с несомненностью свидетельствуют о наличии систематического переносного движения иррегулярностей слоя  $F_2$ , причём данное направление дрейфа, как отмечают авторы, господствовало обычно в течение многих часов подряд: вариации направления в течение четырёхчасовых наблюдений не превышали обычно 2°.

В обоих случаях дрейф происходил преимущественно в западном направлении. Средняя скорость дрейфа равнялась примерно 350 км/час (т. е. около 100 м/сек), причём наблюдения у горизонта (серия а) показали значительно меньшую скорость, чем наблюдения в зените (серия б): 250 км/час и 430 км/час соответственно. Точно так же наблюдалось некоторое различие и в направлении дрейфа: в серии а преимущественное направление дрейфа отклонялось от западного направления примерно на 15° к северу, а в серии б — на 15° к югу.

Кроме того, авторы отмечают следующие обстоятельства: 1) В двух случаях наблюдалось резкое (более чем на 140°) изменение направления дрейфа в течение часа. Аналогичные явления были наблюдаемы авторами и ранее (в феврале — мае 1950 г.) при наблюдениях с двумя приёмниками, разнесёнными на 11 км друг от друга (см. также примечание к таблице). 2) Обнаружена линейная зависимость между быстротой флуктуаций и скоростью дрейфа (заметность отдельных флуктуаций варьирует в пределах от 0,1 до 5 минут — в разные ночи). Это, по мнению авторов, свидетельствует, что различия в скорости флуктуаций обусловлены не различиями в размерах иррегулярностей слоя,  $F_2$ , а изменениями скорости их перемещения.

Таким образом, использование внеземных источников радиоизлучения позволяет получать, повидимому, достаточно надёжные данные о движении ионизованных облаков в области слоя  $F_2$ .

Надо надеяться, что в ближайшие годы применение радиофизических методов позволит составить достаточно полное и отчётливое представление о характере циркуляции воздушных масс на различных высотах.

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. См., например, Е. О. Хальбарт, УФН **34**, 481 (1948).
2. Я. Л. Альперт, УФН **38**, 309 (1949).
3. Nature **167**, № 4251, 626 (1951).
4. Observatory **71**, № 862, 104 (1951).
5. L. A. Manning, O. G. Villarg and A. M. Peterson, Proc. Inst. Rad. Eng. **38**, 877 (1950).
6. М. Райл, УФН **46**, 508 (1952).
7. M. Ryle and A. Hewish, Mon. Nat. Roy. Astr. Soc. **110**, 381 (1950).
8. C. G. Little and A. Maxwell, Phil. Mag. **42**, 267 (1951).
9. A. Maxwell and C. G. Little, Nature **169**, 746 (1952).

Редактор Г. В. Розенберг

Техн. редактор С. С. Гаврилов

T02188. Подписано к печати 25/IX 1952 г.  
9 печ. л. 10,16 уч.-изд. л. 45 163 тип. зн. в печ. л.  
Цена книги 10 руб.

Бумага 60 × 92/16 4,5 бум. л.  
Тираж 4365 экз.  
Зак. 1222

13-я типография Главполиграфиздата при Совете Министров СССР, Москва,  
Гарднеровский пер., 1а.