

А. А. КАШИН

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ДРЕЙФОВ ВЕРХНЕЙ ИОНОСФЕРЫ С ТОКОВЫМИ СИСТЕМАМИ ДИНАМО-ОБЛАСТИ В УМЕРЕННЫХ И ВЫСОКИХ ШИРОТАХ

С точки зрения моторной теории рассматривается поведение дрейфа F_2 -области ионосферы. Наблюдаемый дрейф сравнивается с вычисленным и с суточным ходом горизонтальной составляющей магнитного поля Земли. Подтверждается связь токовой системы динамо-области с дрейфом в F_2 -области умеренных и высоких широт.

Согласно «моторной» теории [1], дрейф в области F_2 возникает в результате действия электрического поля динамо-области на ионосферную плазму, находящуюся в магнитном поле Земли. При некоторых упрощающих предположениях можно показать, как связан дрейф в верхней ионосфере с геомагнитными вариациями, являющимися следствием тока в динамо-области, т. е. в нижней ионосфере. При известных значениях величины электрического поля динамо-области и величины магнитного поля Земли скорость дрейфа в F_2 -области можно вычислить по формуле [2]

$$V = c \frac{[\bar{E} \times \bar{H}_T]}{H_T^2}, \quad (1)$$

где \bar{E} и \bar{H}_T — векторы напряженности электрического и геомагнитного полей. Величина поля E определяется по известным вариациям магнитного поля Земли

$$\text{rot } \delta H_T = \frac{4\pi}{c} j. \quad (2)$$

Здесь δH_T — вариация геомагнитного поля, $j = [\sigma]E$, а $[\sigma]$ — тензор проводимости ионосферы. Током смещения ввиду медленных изменений δH_T можно пренебречь. Согласно Бекеру и Мартину [3], для тонкого сферического слоя компоненты тока проводимости выражаются следующим образом:

$$j_y = \sigma_{xy} E_x + \sigma_{yy} E_y, \quad j_x = \sigma_{xx} E_x + \sigma_{xy} E_y, \quad (3)$$

где σ_{xx} , σ_{xy} и σ_{yy} — составляющие тензора проводимости ионосферы.

В образовании динамо-токов участвуют электроны и ионы всей нижней ионосферы, откуда возникает необходимость вычисления интегральных проводимостей:

$$k_{xx} = \int_{z_0}^z \sigma_{xx} dz, \quad k_{xy} = \int_{z_0}^z \sigma_{xy} dz, \quad k_{yy} = \int_{z_0}^z \sigma_{yy} dz, \quad (4)$$

где z_0 — нижняя, а z — верхняя границы динамо-области, дающей основной вклад в интегральную проводимость. При известных интегральных проводимостях и наличии данных о вариациях магнитного поля Земли компоненты скорости дрейфа в слое F_2 могут быть определены по формулам

$$V_{с-ю} = \frac{2}{3} \frac{c^2}{4\pi \sin I \cdot H_T} \frac{k_{yy} \delta H_x - k_{xy} \delta H_y}{k_{xy}^2 + k_{xx} k_{yy}}, \quad (5)$$

$$V_{в-з} = -\frac{2}{3} \frac{c^2}{4\pi \sin I \cdot H_T} \frac{k_{yy} \delta H_y + k_{xy} \delta H_x}{k_{xy}^2 + k_{xx} k_{yy}}. \quad (6)$$

Здесь I — магнитное наклонение, а δH_x и δH_y — вариации магнитного поля Земли в горизонтальной плоскости, выраженные в γ ($\gamma = 10^{-5}$ эрст).

Для установления связи дрейфов мелкомасштабных неоднородностей ионосферы с токовыми системами динамо-области был рассмотрен материал, полученный при наблюдении за дрейфом методом близко разнесенного приема во время 8-й и 9-й Антарктических экспедиций в Обсерватории Мирный и во время совместных экспедиций ИЗМИР АН СССР и МГУ в 1966—1967 гг. в Тбилиси. Вариации магнитного поля Земли в дни, когда проводились наблюдения за дрейфом, заимствовались в магнитных обсерваториях, находящихся не далее 100 км от места наблюдения.

В 1963 г. в обсерватории Мирный были начаты наблюдения за дрейфом мелкомасштабных неоднородностей [4]. Экспедиция дала возможность наблюдать дрейф в районе полярной шапки, где большинство геофизических явлений протекает весьма своеобразно и заметно отличается от низкоширотных и среднеширотных. Рисунок 1 иллюстрирует связь восточно-западного компонента скорости дрейфа в слое F_2 (точки) с поведением вариации горизонтальной составляющей магнитного поля Земли — δH (крестики) в районе обсерватории Мирный. Результаты представляют среднее значение дрейфа и вариаций δH за два дня 10/X 1963 и 20/XI 1963 гг., когда поведение поля было почти одинаково. Там же помещен ход вычисленного восточно-западного компонента скорости дрейфа (пунктир). Расчет проводился согласно (6), где интегральные проводимости были вычислены по исходным данным [4] в интервале высот от 100 до 130 км и составили: для $k_{xx} = 1,5 \cdot 10^{12}$, для $k_{yy} = 1,08 \cdot 10^{12}$ и для $k_{xy} = 10,5 \cdot 10^{12}$ см·сек⁻¹. Учитывая полученные интегральные проводимости, окончательно запишем

$$V_{с-ю} = -(0,11\delta H_x + 0,78\delta H_y), \quad V_{в-з} = -0,78\delta H_x + 0,11\delta H_y,$$

где $V_{с-ю}$ и $V_{в-з}$ выражены в м·сек⁻¹, а δH_x и δH_y в гаммах (γ). Сходство в поведении вычисленного и наблюдаемого восточно-западного компонента скорости дрейфа удовлетворительное. В частности, коэффициент корреляции между ними $\rho = 0,72$.

Большой экспериментальный материал по дрейфам мелкомасштабных неоднородностей был получен во время экспедиции в г. Тбилиси, который находится в районе прохождения центра токовой системы, от-

ветственной за S_g -вариации магнитного поля Земли. Анализ полученного экспериментального материала показал удовлетворительное сходство в поведении восточно-западного компонента скорости дрейфа с вариациями горизонтальной составляющей магнитного поля Земли [5, 6]. Сравним, например, результаты гармонического анализа

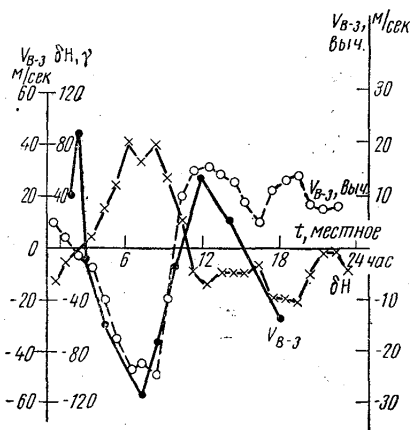


Рис. 1

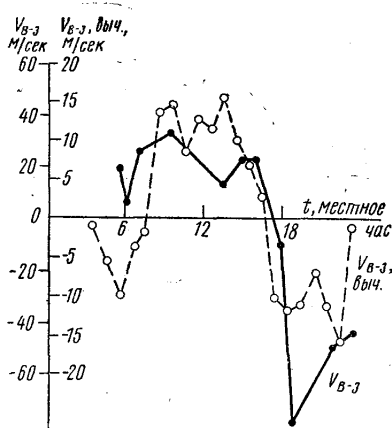


Рис. 2

наблюдаемого и вычисленного восточно-западного компонента скорости дрейфа за 4/XII 1966 г. Данные о дрейфе получены при обработке фединговых записей методом корреляционного анализа:

$$V_{\text{набл}} = 0,67 + 70 \sin(t + 12,4) + 22 \sin 2(t - 3,1) + 17 \sin 3(t - 1,7) + 25 \sin 4(t + 1,7),$$

$$V_{\text{выч}} = 0,9 + 39 \sin(t + 11,8) + 19,4 \sin 2(t - 3,1) + 5,3 \sin 3(t - 0,9) + 23 \sin 4(t - 0,8),$$

где t выражено в часах, а гармонические составляющие скорости дрейфа в $\text{м} \cdot \text{сек}^{-1}$.

Как видим, фазы первых двух гармоник — расчетного и наблюдаемого компонентов скорости дрейфа мало отличаются друг от друга. Постоянные составляющие скорости весьма малы, а гармоники высших порядков значительны, что характерно для пунктов, находящихся в полосе прохождения центра токовой системы. Первая гармоника преобладает над второй, что справедливо для F_2 -слоя ионосферы.

Наконец, о существовании связи дрейфа в F_2 -слое с динамо-токами нижней ионосферы свидетельствуют эксперименты, выполненные под Москвой во время МГГ и МГСС. На рис. 2 изображен ход наблюдаемого и вычисленного восточно-западного компонента скорости дрейфа мелкомасштабных неоднородностей слоя F_2 за 29/VII 1965 г. (как пример для МГСС). Рисунок 3 иллюстрирует аналогичную картину, но для периода МГГ (среднее за 15/IV 1959 г. и 26/V 1959 г.). Оба примера демонстрируют хорошее совпадение в поведении вычисленного и наблюдаемого восточно-западного компонента скорости дрейфа. Коэффициент корреляции для кривых на рис. 2 составляет $\rho = 0,78$, а для кривых на рис. 3 — $\rho = 0,92$.

Однако следует отметить, что величина скорости наблюдаемого дрейфа, как и в ранее описанных экспериментах, в несколько раз (1,5—4) больше вычисленного. Расчет компонентов скорости дрейфа для условий Москвы осуществлялся по формулам

$$V_{с-ю} = 0,35\delta H_x - 0,48\delta H_y, \quad V_{в-з} = -(0,48\delta H_x + 0,31\delta H_y).$$

Анализ вариаций горизонтальной составляющей магнитного поля Земли показал, что амплитуда этих вариаций больше во время МГГ, чем во время МГСС, что объясняется, по-видимому, возрастанием про-

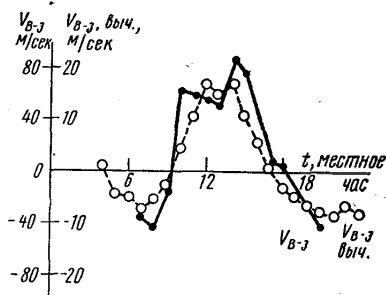


Рис. 3

водимости ионосферы при высокой активности Солнца. Скорость дрейфа в слое F_2 обратно пропорциональна интегральной проводимости, что объясняет в какой-то мере наблюдаемое увеличение скорости дрейфа во время МГСС по сравнению с МГГ [7]. Проводимость ионосферы заметно изменяется в течение суток [8]. Днем она значительно больше, чем ночью, что должно приводить к возрастанию скорости дрейфа в ночное время. Многочисленные наблюдения за дрейфом в F_2 -слое подтверждают этот вывод.

Сравнение северо-южных компонентов скорости дрейфа, полученных из эксперимента и рассчитанных по формуле (5), в большинстве случаев показывает удовлетворительное сходство в поведении наблюдаемого и вычисленного компонентов скорости дрейфа при том же соотношении скоростей, что и для восточно-западного компонента. Исключение составляет обсерватория Мирный, где вычисленные и наблюдаемые северо-южные компоненты близки друг к другу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Chapman S., Bartels J. Geomagnetism. 2, 750—794, 1940.
2. Maeda H. Inst. Physics and Phys. Soc., 187, 190, 1963.
3. Baker W. G., Martyn D. Philos. Trans. Roy. Soc., 246A, 281, 1953.
4. Кашин А. А., Климанов Ф. П., Кушнеревский Ю. В., Миркотан С. Ф., Неровня Л. К. «Геомagnetизм и аэрономия», 6, № 1, 1120, 1966.
5. Арошидзе Г. М., Загуляева В. А., Кашин А. А., Кушнеревский Ю. В., Чиковани Д. С. «Геомagnetизм и аэрономия», 6, № 3, 548, 1967.
6. Загуляева В. А., Кашин А. А. «Труды Всесоюзной конференции по научным итогам МГСС» (в печати, 1968).
7. Кашин А. А., Кушнеревский Ю. В., Неровня Л. К. и др. В сб.: «Ионосферные исследования», № 15, 48, 1968.
8. Фаткуллин М. Н. «Геомagnetизм и аэрономия», 6, № 3, 586, 1964.

Поступила в редакцию
21.5 1968 г.

Кафедра
волновых процессов