

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.838

ИЗМЕНЕНИЕ СУТОЧНОГО ХОДА ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ  
ВО ВРЕМЯ ПОЛНОГО СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 1 АВГУСТА 2008 г.

А.В. Ладынин, Н.Н. Семаков, С.Ю. Хомутов\*

*Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия*

*\*Алтае-Саянский филиал геофизической службы СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

Геомагнитными измерениями во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. в Новосибирске (обсерватория Ключи, NVS) и в пункте Бурмистрово, находящемся на оси полосы полного затмения, обнаружены вызванные затмением изменения геомагнитного поля на фоне спокойного суточного хода. Главные из них — уменьшение значений северной составляющей  $X$  и увеличение наклона  $I$ . Аналогичные изменения отмечены по данным обсерватории LZH (Китай). Анализ данных по затмению 11 августа 1999 г. в Европе не позволил надежно выявить эффекты затмений на фоне интенсивных вариаций ионосферной природы, синхронных по мировому времени. Причиной геомагнитного эффекта затмения может быть уменьшение электронной концентрации в ионосфере и соответствующее уменьшение плотности ионосферных токов.

*Геомагнитное поле, полное солнечное затмение, траектория затмения, изменения значений компонент поля.*

CHANGES IN THE DAILY GEOMAGNETIC VARIATION DURING  
THE TOTAL SOLAR ECLIPSE OF 1 AUGUST 2008

A.V. Ladynin, N.N. Semakov, and S.Yu. Khomutov

Geomagnetic measurements during the total solar eclipse of August 1, 2008 in Novosibirsk (Klyuchi Observatory, NVS) and at the Burmistrovo station located on the total eclipse axis revealed eclipse-induced changes against the background of the normal daily variation. The main changes are a decrease in the  $X$  (north) component and an increase in the inclination  $I$ . Similar changes were recorded at the LZH observatory in China. Analysis of data on the eclipse of August 11, 1999 in Europe failed to unambiguously reveal eclipse effects against intense variations of ionospheric origin which occurred at the same universal time (UT). The geomagnetic effect of the solar eclipse may be due to a decrease in the electron concentration in the ionosphere and the corresponding decrease in the ionospheric current density.

*Geomagnetic field, total solar eclipse, eclipse path, variations of geomagnetic field components*

ВВЕДЕНИЕ

Солнечное затмение влияет на ионосферу на характерных временах порядка одного часа. Наблюдения возмущений в ионосфере во время солнечных затмений показали, что ионосфера реагирует на экранирование солнечного излучения Луной: понижение электронной концентрации достигает десятков процентов; ионосферные слои испытывают вертикальные перемещения; между максимальным эффектом в ионосфере и максимальной фазой затмения наблюдаются временные задержки в десятки минут; часто затмения порождают в ионосфере акустико-гравитационные волны с периодами 1 ч и более [Farges et al., 2001; Белинская и др., 2006; Григоренко и др., 2008; Jakowski et al., 2008; Бабаханов и др., 2009]. Эти эффекты существенно различаются для разных слоев ионосферы ( $E$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ).

Модель изменения токовой системы в  $E$ -слое ионосферы (на высоте около 100 км), которая формирует  $S_q$ -вариацию, предложил С. Чапмен [Chapman, 1933]. Понижение электронной концентрации и проводимости в  $E$ -слое должно приводить к перестройке системы токов и появлению на кривой суточной вариации аномалии амплитудой до одной трети величины поля между текущим и ночным уровнями.

Основная проблема выделения эффектов затмения в магнитном поле связана с тем, что в результатах измерений обычно отмечается множество геомагнитных вариаций, не связанных с затмением. Кроме того, ожидаемые изменения невелики, порядка единиц и первых десятков нанотесл.

В одном из первых исследований эффектов затмения в магнитном поле во время полного солнечного затмения 12 ноября 1966 г. в Перу была зарегистрирована аномалия горизонтальной компоненты амплитудой около 30 нТл, что по величине и знаку соответствовало модели Чапмена [Bomke et al., 1967]. Авторами отмечено запаздывание экстремума в магнитном поле примерно на 2 мин относительно момента максимальной фазы затмения. Менее надежные результаты были получены во время затмения 11 июля 1991 г. в Коста-Рике — предположительный эффект в горизонтальной компоненте  $H$  составил 5 нТл, но знак аномалии был противоположен ожидаемому по модели Чапмена [Brenes et al., 1993]. В период солнечного затмения в Австралии 23 октября 1976 г. измерения магнитного склонения на трех разнесенных станциях в полосе полной тени выявили магнитные аномалии амплитудой до 5 нТл по времени, близкие к моментам максимума затмения [Lilley, Woods, 1977]. Во время полного затмения 24 октября 1995 г. во Вьетнаме по измерениям на трех временных станциях в благоприятных условиях близости к магнитному экватору и высокого стояния Солнца обнаружено изменение горизонтальной компоненты амплитудой в несколько десятков нТл, пропорциональной суточной  $S_q$ -вариации [Nguyen Thi Kim Thoa et al., 1997].

Полное солнечное затмение в Европе 11 августа 1999 г. было продуктивным для изучения его геофизических проявлений, поскольку полоса тени проходила по территории, где существует плотная сеть магнитных обсерваторий (МО), а на период затмения было дополнительно развернуто множество временных станций. В работе [Strestik, 2001], по данным четырех обсерваторий отмечено увеличение  $Y$ -составляющей в период затмения на 10 нТл, а  $X$  — понижение на уровне 5 нТл. Но если первая аномалия согласуется с моделью Чапмена, то вторая имеет обратный ход.

Однако в работе [Korte et al., 2001] выводы о проявлении затмения в магнитном поле в Европе ставятся под сомнение. Основанием для этого служат отсутствие корреляции между магнитными вариациями, вычисленными по модели токовой  $S_q$ -системы во время затмения и в контрольные дни, и реальными данными, а также отсутствие аномалии в магнитном поле в сопряженных токовых структурах в Южном полушарии. В работе [Hvoždara, Prigancova, 2002] сделаны модельные расчеты геомагнитных эффектов на поверхности по возмущениям проводимости  $E$ -слоя над Европой. Показано, что расчетные и экспериментальные вариации магнитного поля во время затмения 11 августа 1999 г. близки для  $Y$ -компоненты, вариация  $X$ -составляющей заметно меньше и ее знак противоположен ожидаемому по модели Чапмена.

С.Р.Ц. Малин с соавторами [Malin et al., 2000] исследовали вариации магнитного поля в Турции и на четырех обсерваториях Европы и обнаружили положительные аномалии в склонении  $D$  (и восточной компоненте  $Y$  с амплитудой до 15 нТл) во время максимальной фазы затмения. Эффект в горизонтальной и вертикальной составляющих не замечен. В продолжении этой работы в [Ozcan, Aydogdu, 2004] выполнен расчет вариаций тока в  $E$ -слое ионосферы над Турцией и показано, что модельные результаты качественно не противоречат экспериментальным данным [Malin et al., 2000].

Анализ ионосферных и магнитных данных во время затмения 11 августа 1999 г. в Европе дан в работе [Curto et al., 2006]. Авторы используют данные сети магнитных обсерваторий и анализируют вариации  $Y$ -компоненты, имеющей регулярную  $S_q$ -вариацию на средних широтах. Полученные оценки эффекта, по данным измерения, близки к ожидаемым — положительная аномалия в  $Y$ -составляющей

имеет амплитуду в несколько нанотесл и используется затем для расчета ионосферного эффекта.

Указанные результаты изучения влияния солнечных затмений на магнитное поле показывают, что проблема остается открытой. Общеизвестно, что источником магнитных аномалий во время затмений являются возмущения в ионосфере. Однако расчеты на моделях эквивалентной токовой  $S_q$ -системы в  $E$ -слое ионосферы сделаны только для затмения 11 августа 1999 г. в Европе. Поэтому проведение магнитных измерений во время затмений остается актуальной задачей: новые данные необходимы для понимания ионосферных процессов.



Рис. 1. Траектория полной фазы затмения 1 августа 2008 г., по [Espenak, Anderson, 1999, 2008].

Наше исследование посвящено изучению изменений суточного хода магнитного поля во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. Траектория полной фазы этого затмения (рис. 1) начиналась в Северной Канаде и в субширотном направлении прошла в полярной области. В Сибири она в субмеридиональном направлении прошла через Новосибирск, где функционирует магнитная обсерватория Ключи (NVS) и субширотно закончилась в Китае. Затмение в Новосибирске началось в 09:41:02 UT, максимальная фаза с 10:43:50 продолжалась 2 мин 20 с до 10:46:10 при высоте Солнца над горизонтом 30°; закончилось затмение в 11:45:03 по мировому времени UT.

Наряду с выявлением изменений суточного хода компонент геомагнитного поля в районе Новосибирска в благоприятных условиях высокого положения Солнца, мы проанализировали данные четырех МО, где затмение было почти полным, но Солнце находилось низко над горизонтом: Кембридж-бей (СВВ), Резолют (RES) на северо-востоке Канады и Туле (ТНЛ) в северо-западной Гренландии — на восходе; Ланчжоу (LZH) в Китае — на закате. В магнитной обсерватории LZH, как и в NVS, обнаружены изменения компонент геомагнитного поля во время затмения 2008 г. — уменьшение значений северной составляющей  $X$  и увеличение наклонения  $I$ .

По данным магнитных обсерваторий Европы, во время затмения 11 августа 1999 г. не удалось однозначно выделить эффекты затмений в вариациях геомагнитного поля. Причиной этого является неустойчивость поля, выраженная в интенсивных вариациях типа «бухт», одновременных по мировому времени.

Причиной эффекта затмения 1 августа 2008 г., наблюдавшегося в Новосибирске (NVS) и Ланчжоу (LZH), во время спокойного геомагнитного поля могли быть уменьшение плотности тока в ионосфере из-за резкого снижения электронной плотности и локальное уменьшение северной компоненты магнитной индукции тока в ионосфере.

### РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ В НОВОСИБИРСКЕ

На Геофизической обсерватории Ключи (код NVS, координаты N 54°50'; E 83°14') ведется непрерывная регистрация компонент геомагнитного поля  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  феррозондовым магнитометром LEMI-008 с частотой 1 Гц. Модуль магнитной индукции ( $F$ ) измеряется с периодичностью 5 с протонным магнитометром на эффекте Оверхаузера (OVH-магнитометром). Сеть подобных обсерваторий довольно редкая, и для регистрации эффекта затмения целесообразно использовать временные станции. Такую станцию мы организовали в пос. Бурмистрово (N 54°51'; E 82°45') на оси траектории максимальной фазы затмения. Здесь в течение трех суток проведены измерения тремя OVH-магнитометрами с дискретностью записи 1 и 5 мин, а также системой векторных измерений ( $D$ ,  $I$  — феррозондовыми теодолитами,  $F$  — OVH-магнитометром) с дискретностью 15 мин.

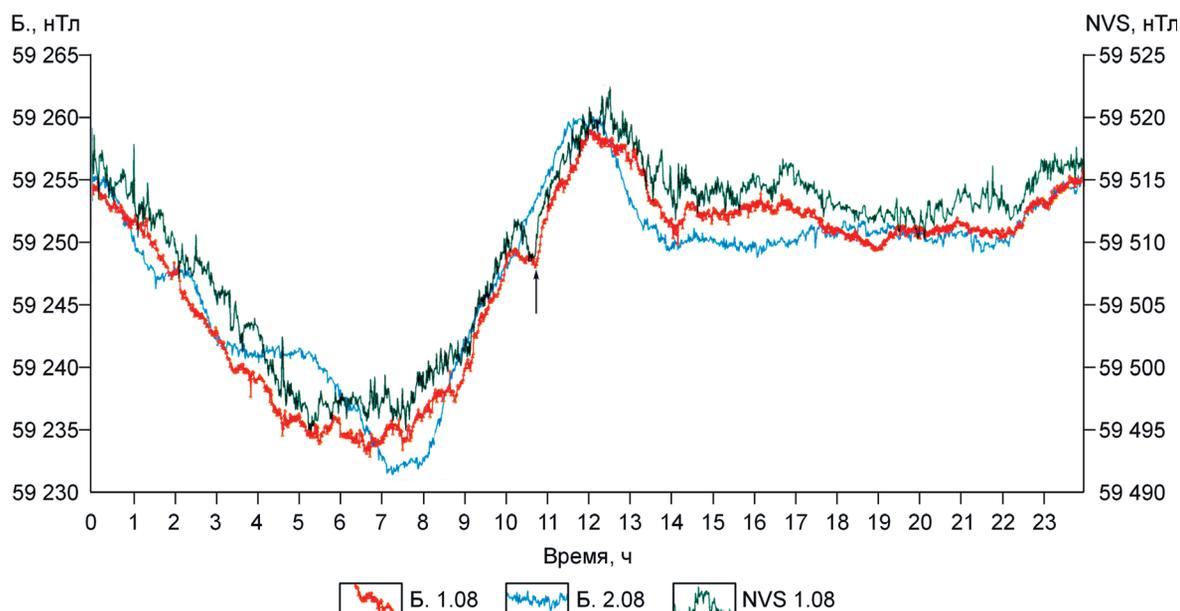
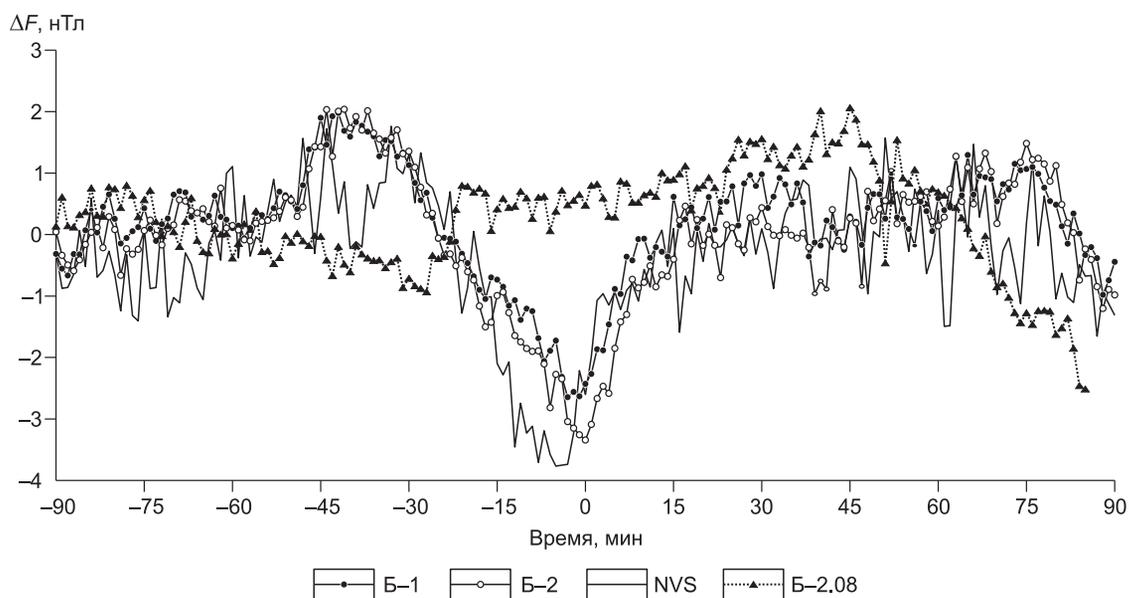


Рис. 2. Суточный ход  $F$  по измерениям в Бурмистрово 1 и 2 августа (левая шкала) и в обсерватории Ключи (NVS) 1 августа (правая шкала).

Стрелка — момент максимальной фазы затмения.



**Рис. 3. Изменение  $F$  на трехчасовом интервале, центрированном на момент максимальной фазы затмения 1 августа 2008 г.**

Б-1 и Б-2 — данные двух OVH-магнитометров в Бурмистрово 1 августа; NVS — запись OVH-магнитометра в МО Ключи; Б-2.08 — данные OVH-магнитометра в Бурмистрово 2 августа.

Суточные кривые (суточный ход) модуля вектора магнитной индукции  $F$ , по данным измерений 1 августа 2008 г. в МО NVS и Бурмистрово показаны на рис. 2. Для сравнения приведены кривые  $F$  за последующие сутки. Они показывают, что 2 августа магнитное поле было спокойным, а 1 августа — слабовозмущенным.

На кривых суточного хода  $F$  (см. рис. 2) отмечается уменьшение магнитной индукции во время полной фазы затмения — на 4 нТл, по данным измерений в Бурмистрово, и на 5 нТл, по данным МО NVS. Эта аномалия проявляется на фоне почти линейного тренда с 07:30 до 12:30 UT. Для более наглядного представления этой особенности  $F$  мы выбрали для анализа интервал в 3 ч, центрированный на момент максимальной фазы затмения 10:45 UT и исключили линейный тренд. Моменты максимальной фазы затмения — по данным [Espanak, Anderson, 1999, 2008].

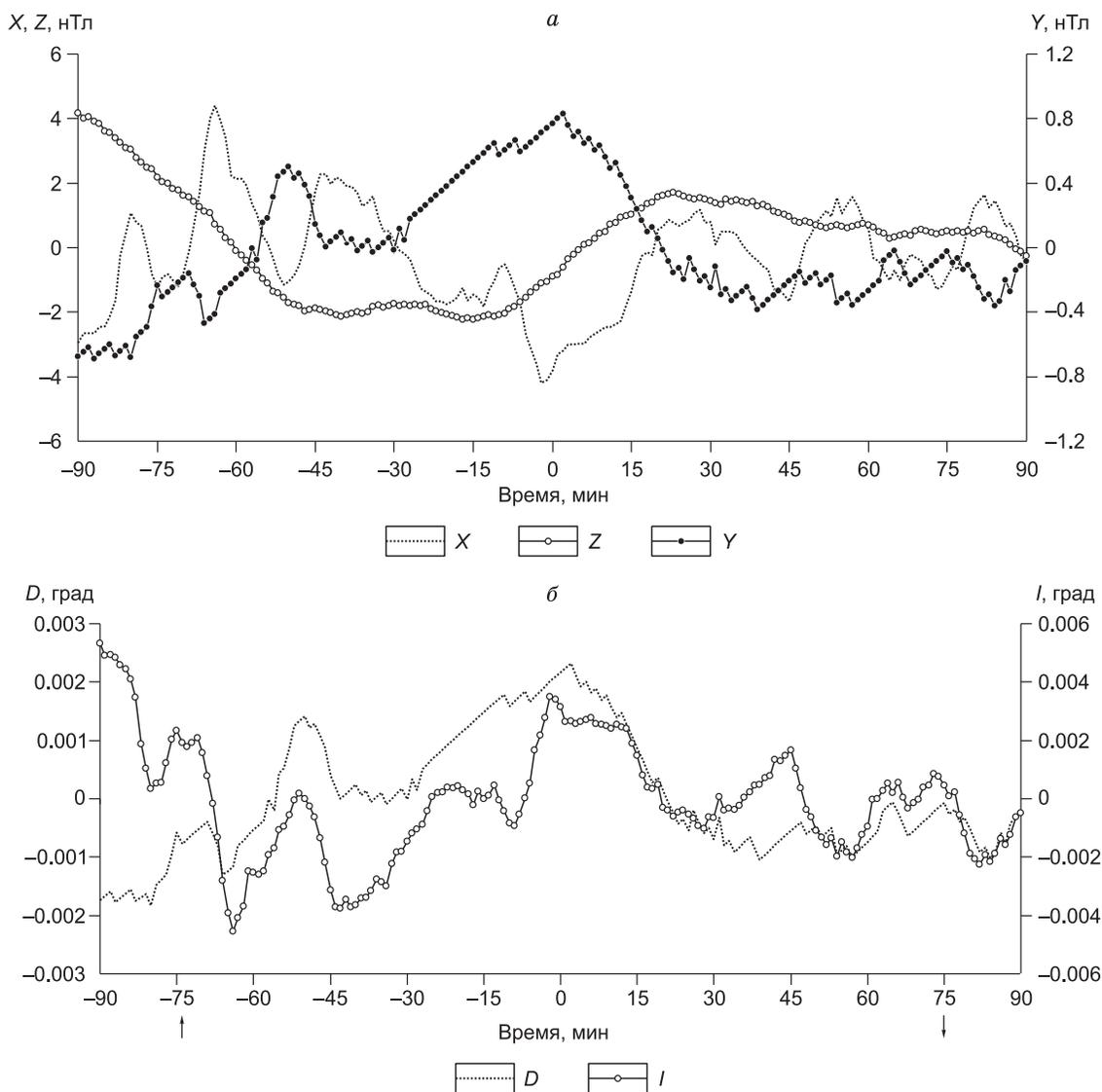
На рис. 3 показаны изменения модуля вектора магнитной индукции 01.08.2008 по трехчасовым интервалам: по данным обсерватории NVS, двум магнитометрам в Бурмистрово (Б-1 и Б-2) и данным 02.08.2008 в Бурмистрово (Б. 2.08), также полученным OVH-магнитометром. Исключение линейного тренда позволило показать кривые в едином масштабе.

Оценки погрешности измерений  $F$  в трехчасовых выборках получены в Бурмистрово по разности одновременно работавших OVH-магнитометров, а в МО NVS — из сравнения значений  $F$  по прямым измерениям (обозначаются  $F$ ) и геометрической суммы значений компонент ( $T_k$ ) по записям трехкомпонентных магнитографов  $T_k = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ . Среднеквадратическое расхождение  $F$  по трехчасовому интервалу наблюдений: в Бурмистрово (Б.-1 и Б.-2) —  $\pm 0.17$  нТл, в МО NVS ( $F$  и  $T_k$ ) —  $\pm 0.24$  нТл. Погрешности измерений, как видим, на порядок меньше выявленных изменений геомагнитного поля во время затмения.

По данным трехкомпонентных ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) измерений в МО NVS вычислены другие элементы магнитного поля —  $H$ ,  $T_k$ ,  $D$ ,  $I$ . Их изменение во время затмения показаны на рис. 4 (максимальная фаза 0 на шкале времени).

Во время затмения отчетливо выделяются максимумы элементов  $Y$ ,  $D$ ,  $I$  и минимумы по  $X$  и  $Z$  (а также  $H$  и  $F$ ; эти кривые не показаны ввиду их близости к кривым  $X$  и  $Z$  соответственно). Экстремальные изменения  $-6$  нТл в  $X$ ;  $1.2$  нТл в  $Y$ ;  $0.03^\circ$  в  $D$ ;  $0.006^\circ$  в  $I$ . Видно, что магнитное поле было беспокойным, кроме эффекта затмения наблюдаются похожие вариации ( $-53$  и  $73$  мин).

По трехкомпонентным измерениям в Бурмистрово (с дискретностью 15 мин) наблюдается похожая картина. На рис. 5 приведены данные этих измерений в сопоставлении с выборкой тех же величин



**Рис. 4. Изменение элементов геомагнитного поля в МО NVS во время затмения 1 августа 2008 г.**

*а* — силовые, *б* — угловые элементы.

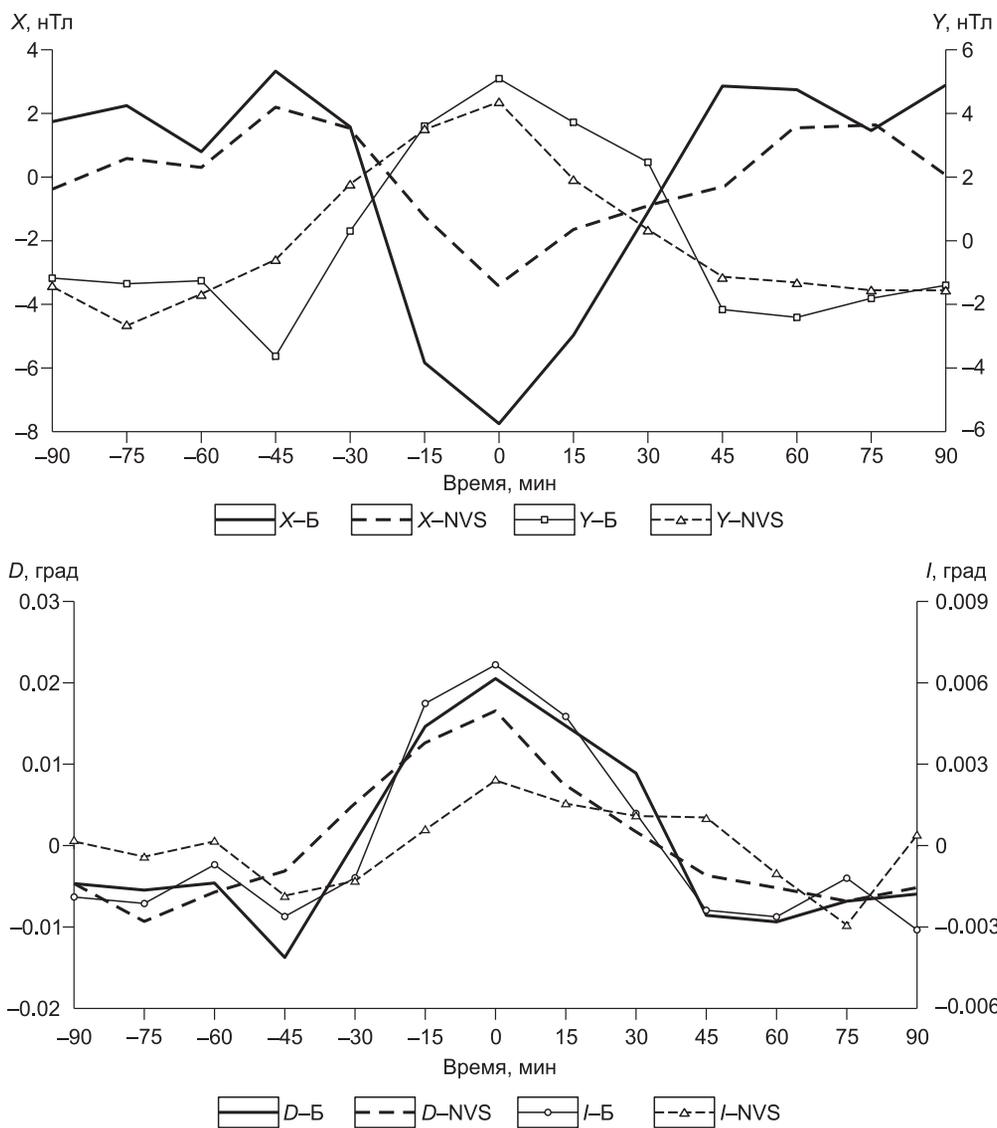
по МО NVS с шагом 15 мин. Значения  $X$  и  $H$  даны за вычетом среднесуточных значений, а из значений  $F$ ,  $Y$ ,  $D$ ,  $I$  исключен линейный тренд в течение 3 ч.

По данным трехкомпонентных измерений в Бурмистрово, уверенно выявлены максимумы значений в момент затмения: по компоненте  $Y$  (9 нТл), склонению  $D$  (около  $0.03^\circ$ ), наклонении  $I$  (около  $0.09^\circ$ ) и минимум в  $X$  (–11 нТл). В данных МО NVS экстремумы  $I$  и  $X$  имеют несколько меньшую амплитуду.

#### МАГНИТНЫЕ ВАРИАЦИИ В ДРУГИХ ОБСЕРВАТОРИЯХ ПО ТРАССЕ ЗАТМЕНИЯ 2008 г.

Единственная обсерватория, которая была в полосе полной фазы затмения в восточной ее части, это LZH (Ланчжоу, Китай; координаты N  $36^\circ 05'$ ; E  $103^\circ 14'$ ).

По данным МО LZH, где затмение происходило перед закатом Солнца, отмечено уменьшение  $F$  на 8,  $X$  — на 13,  $Z$  — на 2 нТл (рис. 6, *а*). По  $Y$  отмечено общее увеличение на 6 нТл с понижением на 1 нТл перед главной фазой затмением и возрастанием на 3 нТл после нее. Аналогичен вид кривой  $D$  (см. рис. 6, *б*) с общим увеличением на  $0.007^\circ$ . Наклонение  $I$  и горизонтальная компонента  $H$  изменялись в противофазе: увеличение  $I$  на  $0.008^\circ$ , уменьшение  $H$  на 10 нТл. Эти изменения поля мало отличаются от соответствующих вариаций в МО NVS.



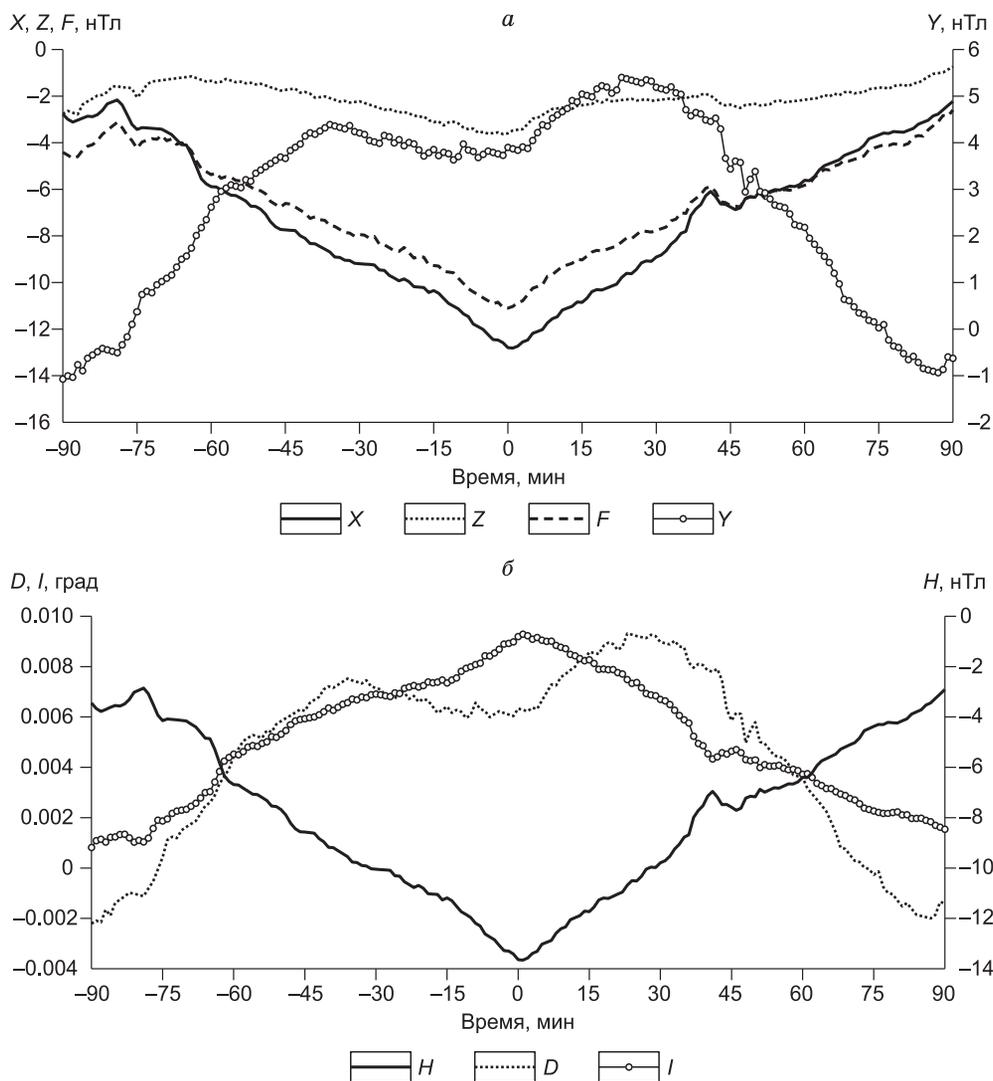
**Рис. 5. Изменение элементов геомагнитного поля во время затмения 1 августа 2008 г. в Новосибирске.**

Бурмистрово (\*Б) и МО NVS (\*NVS).

В день затмения магнитное поле вблизи полюса (МО СВВ, RES, ТНЛ) было неустойчивым. Мы приводим один график — элементов  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  с исключенным линейным трендом на интервале 3 ч (рис. 7) по обсерватории Туле (ТНЛ) в Гренландии. Здесь видно уменьшение  $X$  и увеличение  $Y$ , по значениям, близким к изменениям в других МО, но они наложены на сложные колебания иной природы. Сочетание двух минимумов в  $Z$  с амплитудой 30—36 нТл с максимумом между ними во время полной фазы затмения — это, видимо, случайное совпадение с затмением бухтообразных вариаций компоненты  $Z$  (и  $F$ ) геомагнитного поля. По МО Канады Кембридж-бей (СВВ) и Резолют (RES) заметных эффектов во время затмения не обнаружено; вероятные причины — значительные возмущения поля, низкое положение Солнца над горизонтом и малые значения компоненты  $X$  в приполярной области.

Закономерными изменениями геомагнитного поля в обсерваториях NVS и LZH во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. являются:

1) уменьшение северной составляющей геомагнитного поля  $X$  и горизонтальной компоненты  $H$  и увеличение наклона  $I$  в противофазе с  $H$ ;



**Рис. 6. Изменение во время солнечного затмения 1 августа 2008 г. элементов геомагнитного поля в МО LZH.**

*а, б* — пояснения см. в тексте.

2) увеличение склонения  $D$  и восточной компоненты  $Y$  с разным соотношением величин в разных МО;

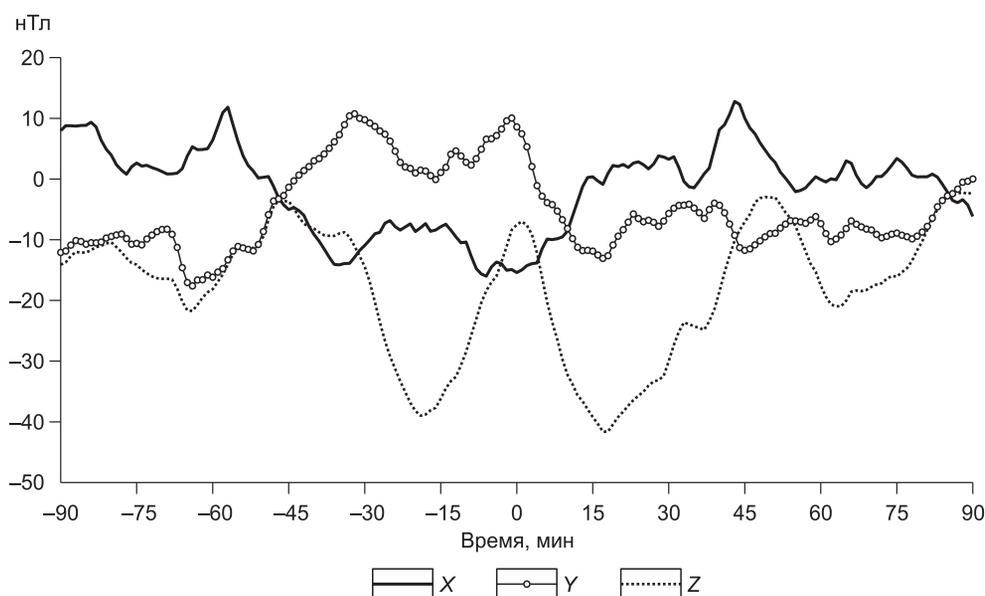
3) уменьшение  $F$  и менее отчетливое уменьшение  $Z$ ; последнее не всегда отмечается на графиках  $F$  и  $Z$  магнитных обсерваторий на сайте INTERMAGNET.

Для сравнения с результатами в МО NVS и LZH 1 августа 2008 г. мы привлекли данные магнитных обсерваторий Европы во время полного солнечного затмения 11 августа 1999 г., по которому, как сказано выше, имеется много публикаций.

#### МАГНИТНЫЕ ВАРИАЦИИ ВО ВРЕМЯ ЗАТМЕНИЯ 11 АВГУСТА 1999 г. В ЕВРОПЕ

Проведенный по изложенной выше методике анализ изменения компонент геомагнитного поля в компактной группе МО — FUR, NCK, THY, которые находились в полосе полной фазы затмения не дал однозначных результатов.

Для этих трех МО на рис. 8 представлены кривые  $H$  и  $I$  в часовом промежутке времени относительно момента полной фазы затмения в каждой МО. Значения компонент даны относительно среднесуточных. Видно противофазное распределение экстремумов  $H$  (минимум) и  $I$  (максимум) по этим обсерваториям, но приуроченности этих экстремумов к полной фазе затмения (0 на шкале времени) не



**Рис. 7. Изменение геомагнитного поля в МО THL (Гренландия) во время затмения 1 августа 2008 г.**

наблюдается. Эффекты в геомагнитном поле сдвинуты относительно времени полной фазы затмения в этих МО.

В таблице приведены координаты магнитных обсерваторий, время максимальной фазы затмения (UT), сдвиг относительно момента максимальной фазы затмения экстремумов  $H$  (а также  $X$  и  $I$ ; они синхронны).

То обстоятельство, что сумма значений в последних двух колонках таблицы равна 10 ч 46 мин, означает, что экстремумы вариаций  $H$  и  $I$  проявляются одновременно по мировому времени, что не дает оснований связывать их с затмением. Это видно на рис. 9, где приведены вариации  $H$  в интервале 1.5 ч от средних значений на этом интервале. Стрелками показаны моменты полной фазы затмения в каждой из пяти МО.

Магнитное поле 11 августа 1999 г. в Европе было довольно возмущенным. Вариация, сходная с изменением поля во время затмения в Новосибирске, отмечена в 10 ч 46 мин, что соответствует среднему времени (UT) затмения в трех центральных МО и близко к среднему моменту затмения по пяти обсерваториям. В осредненных значениях вариаций разных компонент поля по трем центральным МО геомагнитные эффекты затмения аналогичны эффектам затмения 1 августа 2008 г. в NVS и LZH; у них одинаковы закономерности распределения знаков экстремумов компонент во время полной фазы затмения, т.е. максимумы  $Y$ ,  $I$  и  $D$ , минимум  $X$  и  $H$  (эти графики не приводятся).

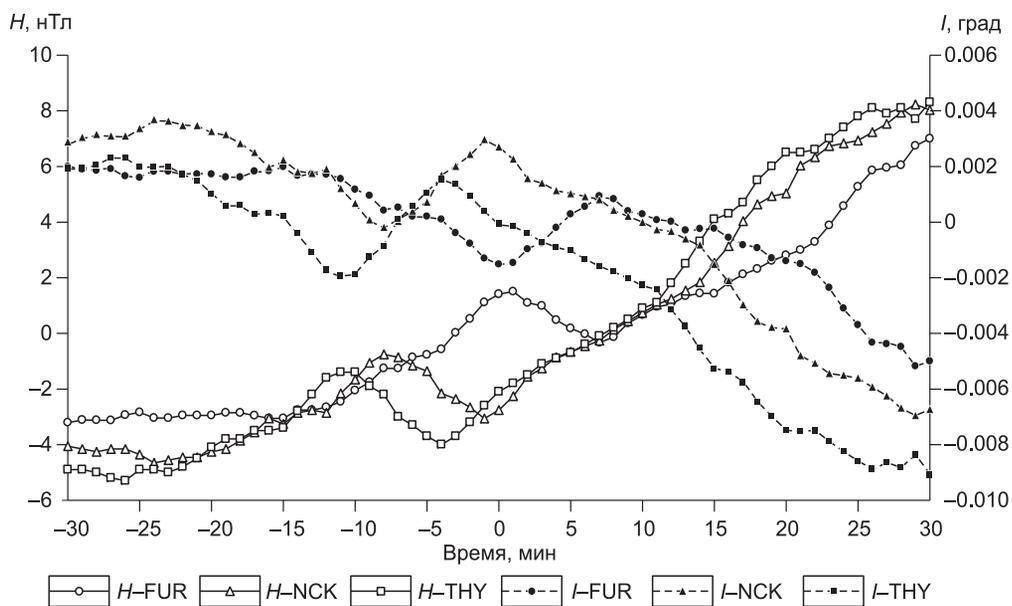
Итак, по затмению 11 августа 1999 г. в Европе трудно сделать однозначный вывод о геомагнитных эффектах затмения. Возможны два варианта.

1. Вариация в 10 ч 46 мин — это геомагнитное возмущение типа «бухты», синхронное во всех МО по мировому времени, совпавшая со временем затмения в Центральной Европе. Параметры этой вариации похожи на эффекты затмения 2008 г. в Азии.

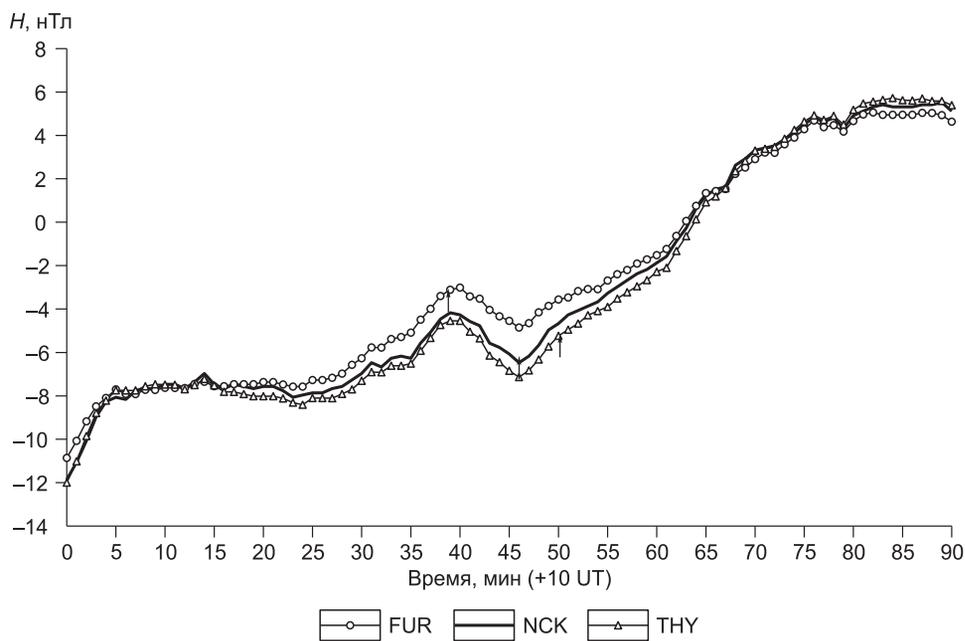
2. Это эффект затмения, но он регулярно сдвинут относительно момента затмения в каждой МО.

**Координаты МО и время полной фазы затмения 11.08.1999 г.**

Индекс МО	Широта, град	Долгота, град	Время UT затмения, ч. мин	Сдвиг, мин
FUR	48.165	11.277	10. 38	8
NCK	47.630	16.720	10. 48	-2
THY	46.900	17.893	10. 50	-4



**Рис. 8.** Сдвиг экстремумов эффекта относительно времени полной фазы затмения 11 августа 1999 г. в трех МО Европы.



**Рис. 9.** Изменения горизонтальной составляющей  $H$  магнитного поля с 10:00 до 11:30 UT 11 августа 1999 г. в трех магнитных обсерваториях Европы.

Стрелки — моменты максимальной фазы затмения в каждой МО.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выявлены следующие изменения значений элементов геомагнитного поля во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. в обсерваториях Азии:

- 1) уменьшение значений северной составляющей геомагнитного поля  $X$  и горизонтальной компоненты  $H$ ; увеличение наклона  $I$  в противофазе с  $X$  и  $H$ ;
- 2) увеличение наклона  $D$  и восточной компоненты  $Y$ ;
- 3) некоторое уменьшение  $F$  и менее отчетливое уменьшение  $Z$ .

Из перечисленных выше закономерностей наиболее существенно и надежно выявлено уменьшение северной компоненты магнитного поля.

Во время затмения 11 августа 1999 г. в Европе из-за возмущенности геомагнитного поля не удалось однозначно выявить эффект затмения. Возможно, с временем затмения совпала вариация типа «бухты», проявляющаяся по мировому времени одновременно во всех обсерваториях. Если эту вариацию интерпретировать как эффект затмения, обнаруживается сдвиг экстремумов относительно времени максимальной фазы затмения, линейно по долготе МО изменяющийся по трассе полной тени от 8 мин в МО FUR до –4 мин в МО THY, т.е. в западной части европейской траектории затмения его геомагнитный эффект запаздывал относительно времени полной фазы, а в восточной появился с опережением.

Причину этих эффектов можно связывать с уменьшением на 70 % потока солнечного ионизирующего излучения и концентрации электронов в ионосфере во время затмения, что показано в работе [Davis et al., 2000]. Эти возмущения в ионосфере могут приводить к соответствующему уменьшению плотности тока в нижней ионосфере и к локальному уменьшению северной компоненты магнитной индукции этого тока.

Изменения в ионосфере во время затмения разнообразны и затмение 1999 г. не выходит из общего ряда [Le et al., 2008]: это изменение электронной плотности, температуры на разных высотах, режима циркуляции масс в верхней атмосфере и прочее. Нижний слой  $E$  на высоте ~100 км практически перешел в ночное состояние. В слоях с более высокой электронной плотностью  $F_1$  (~200 км) и  $F_2$  (~300 км) плотность электронов была понижена до 0.3 ее обычной величины, причем это уменьшение возникло с запазданием на 15 мин в слое  $F_1$  и на 30 мин в слое  $F_2$ . Это дает основание связывать запаздывание геомагнитного эффекта затмения на западе Европы с этим фактором.

Трасса полного затмения имела субширотное направление. Преобладающие ветры в верхней ионосфере — западные и северо-западные, на западе Европы в этот день зарегистрирована область усиления ветра до скорости более 200 м/с [Eclipse effects..., 2003]. Таким ветром обедненная электронами ионосфера могла быть перенесена к востоку до начала там затмения, что и определило опережение геомагнитного эффекта затмения относительно времени полной фазы в МО THY.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлены изменения суточного хода геомагнитного поля во время полного солнечного затмения 1 августа 2008 г. в Азии (Новосибирск, Ланчжоу). Главные геомагнитные эффекты затмения — уменьшение северной компоненты  $X$  на 8—10 нТл, увеличение наклона на 0.004—0.009°. Эти эффекты удалось обнаружить благодаря относительно спокойному магнитному полю в день затмения.

Показано, что эффект затмения может быть обнаружен наблюдениями на временных станциях с непрерывной записью или дискретными наблюдениями с шагом до 15 мин, как это принято в системе ПВХ [Ладынин и др., 2006].

Анализ данных европейских обсерваторий во время затмения 11 августа 1999 г., когда магнитное поле было возмущенным, не позволил однозначно выявить эффекты затмений на фоне интенсивных вариаций ионосферной природы, синхронных по мировому времени. Изменения суточного хода геомагнитного поля во время этого затмения в Европе допускают два варианта объяснения.

1. Вариация в 10 ч 46 мин — это геомагнитное возмущение типа «бухты», синхронное во всех МО по мировому времени, совпавшее со временем затмения в Центральной Европе. В пользу этого объяснения свидетельствует наличие еще нескольких аномалий в день затмения, также синхронных во всех обсерваториях.

2. Это эффект затмения, но он регулярно сдвинут относительно момента затмения в каждой МО. Аргументы: параметры вариации похожи на эффекты затмения 1 августа 2008 г. в Азии; сдвигу эффекта затмения относительно времени полной фазы удастся найти непротиворечивое объяснение.

Результаты, представленные в этой статье, получены на магнитных обсерваториях FUR, NCK, THY в 1999 г. и обсерваториях NVS, LZH, THL, CBV, RES в 2008 г. Мы благодарим персонал этих обсерваторий и INTERMAGNET за возможность получения данных высокого стандарта качества через <http://www.intermagnet.org>.

## ЛИТЕРАТУРА

**Бабаханов И.Ю., Белинская А.Ю., Бизин М.А., Грехов О.М., Кузнецов В.В., Павлов А.Ф., Хомутов С.Ю.** Геофизические возмущения во время солнечного затмения 1 августа 2008 года в Новосибирске (предварительные результаты) // ГЕО-Сибирь-2009. Т. 4. Дистанционные методы зондирования Земли (Матер. V Международного научн. конгресса «Гео-Сибирь-2009», 20—24 апреля 2009 г. Новосибирск). Новосибирск, 2009, с. 150—154.

**Белинская А.Ю., Хомутов С.Ю., Григорьева С.А.** Ионосферный отклик на солнечное затмение 29.03.2006 г. // Изв. вузов. Сер. физика, 2006, № 9, с. 68—72.

**Григоренко Е.И., Ляшенко М.В., Черногор Л.Ф.** Эффекты в ионосфере и атмосфере, вызванные солнечным затмением 29 марта 2006 г. // Геомагнетизм и аэрономия, 2008, т. 48, № 3, с. 350—364.

**Ладынин А.В., Павлов А.Ф., Попова А.А., Семаков Н.Н., Хомутов С.Ю.** Методика изучения вековых вариаций геомагнитного поля по измерениям на обсерваториях и пунктах векового хода с использованием феррозондовых теодолитов // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (6), с. 800—811.

**Bomke H.A., Blake H.A., Harris A.K., Hulse W.H., Sheppard D.J., Giesecke A.A., Pantoja A.** Recombination coefficient and coronal contribution to E-layer ionization from magnetic observations of a solar eclipse // J. Geophys. Res., 1967, v. 72, № 23, p. 5913—5917.

**Brenes J., Leandro G., Fernandez W.** Variation of the geomagnetic field in Costa Rica during the total eclipse of July 11, 1991 // Earth, Moon Planets, 1993, v. 63, p. 105—117.

**Chapman S.** The effect of a solar eclipse on the Earth's magnetic field // Terr. Magn. Atmos. Electr., 1933, v. 38(3), p. 175—183.

**Curto J.J., Heilig B., Pinol M.** Modeling the geomagnetic effects caused by the solar eclipse of 11 August 1999 // J. Geophys. Res., 2006, v. 111, p. A07312.

**Davis C.J., Lockwood M., Bell S.A., Smith J.A., Clarke E.M.** Ionospheric measurements of relative coronal brightness during the total solar eclipses of 11 August, 1999 and 9 July, 1945 // Ann. Geophys., 2000, v. 18, p. 182—190.

**Eclipse effects** on winds. <http://www.wds.rl.ac.uk/ionosondes/eclipse/wind.html> 2003.

**Espenak F., Anderson J.** Total solar eclipse of 1999 August 11. NASA RP1398. <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/Semona/TSE1999/TSE1999.html>

**Espenak F., Anderson J.** Total solar eclipse of 2008 August 01 (NASA/TP-2007-214149) <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEpubs/20080801/rp.html>

**Farges T., Jodogne J.C., Bamford R., Roux Y. Le, Gauthier F., Vila P.M., Altadill D., Sole J.G., Miro G.** Disturbances of the western European ionosphere during the total solar eclipse of 11 August 1999 measured by a wide ionosonde and radar network // J. Atmos. Solar-Terrest. Phys., 2001, v. 63, p. 915—924.

**Hvoždara M., Prigancova A.** Geomagnetic effects due to an eclipse-induced low-conductivity ionospheric spot // J. Geophys. Res., 2002, v. 107(A12), p. 1467.

**Jakowski N., Stankov S.M., Wilken V., Borries C., Altadill D., Chum J., Buresova D., Boska J., Sauli P., Hruska F., Cander Lj.R.** Ionospheric behavior over Europe during the solar eclipse of 3 October 2005 // J. Atmos. Solar-Terr. Phys., 2008, v. 70, p. 836—853.

**Korte M., Luhr H., Forster M., Haak V., Bencze P.** Did the solar eclipse of August 11, 1999, show a geomagnetic effect? // J. Geophys. Res., 2001, v. 106(A9), p. 18563—18575.

**Le H., Liu L., Yue X., Wan W.** The ionospheric responses to the 11 August 1999 solar eclipse: observation and modeling // Ann. Geophys., 2008, v. 26, p. 107—116.

**Lilley F.E.M., Woods D.V.** Magnetic observations of the solar eclipse of 23 October 1976 in Australia // Nature, 1977, v. 266, p. 823—824.

**Malin S.R.C., Özcan O., Tank S.B., Tunçer M.K., Yazıcı-Çakın O.** Geomagnetic signature of the 1999 August 11 total eclipse // Geophys. J. Int., 2000, v. 140, p. F13—F16.

**Nguyen Thi Kim Thoa, Ha Duyen Chau, Trong Quang Hao, Pham Van Tri, Vo Thanh Son, Luong Van Truong, Vu Hong Nam.** Magnetic and ionospheric observations during the October 24, 1995 total solar eclipse in Vietnam // Terr., Atmos. Oceanic Sci., 1997, v. 8, № 2, p. 155—164.

**Ozcan O., Aydogdu M.** Possible effects of the total solar eclipse of August 11, 1999 on the geomagnetic field variations over Elazig-Turkey // J. Atmos. Solar-Terrest. Phys., 2004, v. 66, p. 997—1000.

**Strestik J.** The effect of the August 11, 1999 total solar eclipse on the geomagnetic field // Contr. Geophys. Geod., 2001, v. 31(1), p. 331—334.