



УДК 550.389.5

ГЕОМАГНИТНАЯ ОБСТАНОВКА В ОКРЕСТНОСТЯХ ЧЁРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ СТАЦИОНАРНЫХ МАГНИТОВАРИАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

Д.Д. Вишняков¹, Д.А. Арутюнян¹, А.Д. Шклярчук¹, Е.Н. Хотенко¹¹Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Федорова, Москва, Россия

В статье рассмотрены данные зарубежных и отечественных магнитовариационных станций (МВС). Приведены результаты анализа и некоторые выводы о структуре вариаций магнитного поля Земли в окрестностях рассматриваемого региона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МАГНИТОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА, МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ (МПЗ), КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА, МАГНИТОСФЕРА, ВАРИАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ.

DOI 10.5425/2304-7380_2022_36_40

<https://elibrary.ru/johpdw/>

1. ВВЕДЕНИЕ

За последние несколько десятков лет произошло существенное развитие аппаратно-измерительного комплекса магнитометрических исследований. Значительно расширился перечень используемых носителей и специализированных программ для обработки полевых материалов. Созданы и уточняются математические модели нормального и аномального магнитного поля Земли (МПЗ). Всё это приводит к возможности проведения магниторазведочных работ, точность которых превосходит 1 нТл. Введение поправок за вариации МПЗ является неотъемлемой частью методики исследования [1], в связи с чем становится актуальной задача изучения поля вариаций МПЗ и получения более высокоточной информации.

Кроме того, вариации магнитного поля являются важной характеристикой состояния магнитосферы, отражающей степень защищённости Земли от внешнего космического воздействия. Регулярные наблюдения и исследования в данной области являются неотъемлемой частью развития современной фундаментальной науки.

Целью данного исследования является попытка установить взаимосвязь между физико-географическим положением МВС и характером изменения регистрируемых параметров магнитного поля Земли.

Электронная почта авторов для переписки:

Вишняков Дмитрий Дмитриевич, e-mail: d.d.vish@mail.ru

Адрес редакции журнала
«Гелиогеофизические исследования»:ФГБУ «ИПГ»
129128; Россия, Москва
ул. Ростокинская, 9.
e-mail: vestnik@ipg.geospace.ru<https://elibrary.ru/johpdw/>

2. СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования характеристик вариаций магнитного поля указанной области использовались измеренные значения модуля вектора магнитной индукции четырёх обсерваторий сети INTERMAGNET [2] – LVV (Львов, Украина), SUA (Суралари, Румыния), IZN (Изник, Турция), PAG (Панагюриште, Болгария) и двух обсерваторий установленных при участии сотрудников ФГБУ «ИПГ» и ИЗМИРАН – CRAO (Кацивели, Россия) и LEMI (Лазурное, Россия) (рис. 1).



Рис. 1. Положение стационарных МВС на физической карте

Для анализа динамики изменения поля вариаций в данном регионе поставлена задача получения достаточной выборки, включающей в себя информацию о различных типах возмущений МПЗ при отличающихся условиях регистрации. По данным трёхчасовых К_p-индексов выбраны три дня 2021 года – 17, 22 апреля и 6 мая.

Записи МВС синхронизированы по времени и приведены к единой системе отсчёта UTC+0, а также предварительно обработаны – удалён линейный тренд и постоянная составляющая для приведения к единому уровню. Значения магнитного поля регистрировались с периодом 60 секунд.

3. АНАЛИЗ МАТЕРИАЛОВ

Согласно планетарным индексам геомагнитной активности (рис. 2) 17 апреля 2021 г. наблюдались слабые магнитные бури. В этот день зарегистрированы вариации магнитного поля с абсолютной амплитудой до 40 нТл (рис. 3).

Визуальная оценка графиков позволяет определить наличие схожих возмущений магнитного поля на всех обсерваториях, принимающих участие в эксперименте – на вариационных кривых присутствуют общие экстремумы как в высокочастотной, так и в низкочастотной составляющей.

Для формальной количественной оценки пространственной неоднородности вариаций магнитного поля рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона (r) попарно для всех обсерваторий (табл. 1). Согласно описанию коэффициента корреляции Пирсона [3] следует выделять 5 диапазонов его изменения с соответствующей степенью корреляции:

- Очень слабая корреляция ($|r| \in [0; 0.2)$)
- Слабая корреляция ($|r| \in [0.2; 0.4)$)
- Средняя корреляция ($|r| \in [0.4; 0.6)$)
- Сильная корреляция ($|r| \in [0.6; 0.8)$)
- Очень сильная корреляция ($r \in [0.8; 1]$)

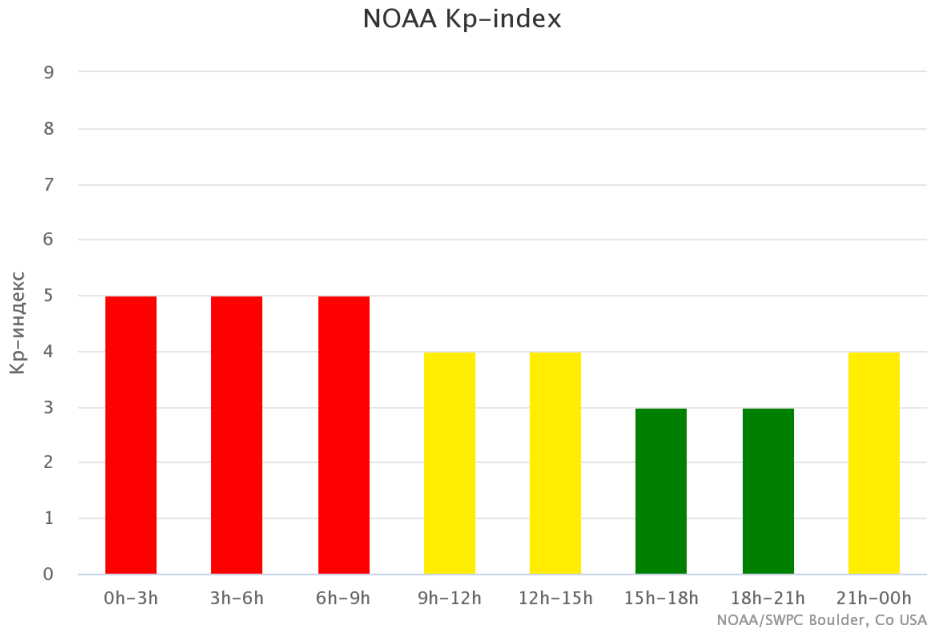


Рис. 2 Диаграмма трёхчасовых Kp-индексов для интервала 17 апреля 2021 года [4]

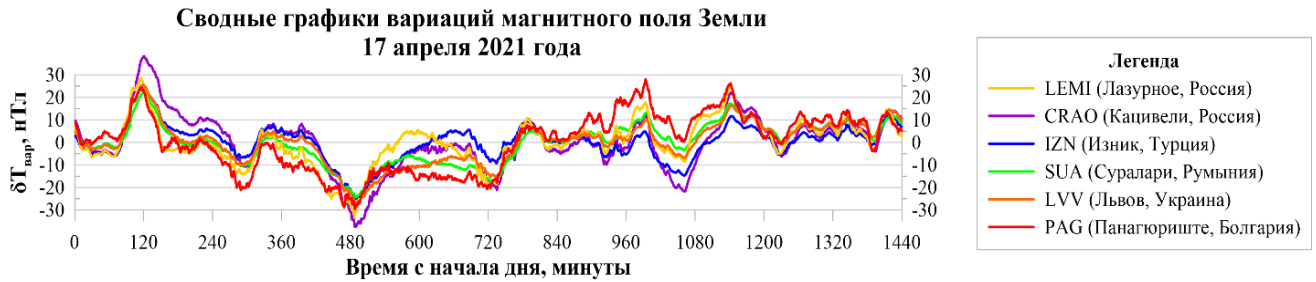


Рис. 3. Сводные графики наблюденных значений вариаций магнитного поля, приведённые к условному нулевому уровню за 17 апреля 2021 года

В свою очередь знак коэффициента корреляции свидетельствует о прямой ($r > 0$) или обратной ($r < 0$) зависимости.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции Пирсона. 17 апреля 2021.

	PAG	LVV	SUA	IZN	CRAO	LEMI
PAG		0.84	0.92	0.52	0.61	0.84
LVV	0.84		0.96	0.85	0.90	0.83
SUA	0.92	0.96		0.73	0.83	0.88
IZN	0.52	0.85	0.73		0.95	0.76
CRAO	0.61	0.90	0.83	0.95		0.77
LEMI	0.83	0.84	0.88	0.76	0.77	

Наименьший коэффициент корреляции имеют кривые, полученные в Турции (IZN) и Болгарии (PAG) – 0.52, а наибольшую – в Румынии (SUA) и Украине (LVV) – 0.96.

Основного внимания заслуживает полученная оценка коэффициента корреляции для станций, установленных в п.г.т. Кацивели (CRAO) и с. Лазурное (LEMI). Записи с обсерваторий, расположенных на минимальном удалении друг от друга, имеют «сильную» прямую зависимость ($r = 0.77$), при этом каждая из них по-отдельности имеет «очень сильную» прямую зависимость с удалёнными обсерваториями сети INTERMAGNET. Так между записями станций SUA (Румыния) и LEMI (Россия) коэффициент корреляции равен 0.88, а между CRAO (Россия) и IZN (Турция) – 0.95.

Полученные оценки дают основание полагать, что даже при слабых бурях наблюдается существенная неоднородность поля вариаций. Также важно отметить, что выделяется устойчивая связь между вариационными кривыми, полученными с удалённых станций (расстояние более 500 км) на фоне значительного отличия записей ближайших обсерваторий (расстояние 42.5 км). Наибольший интерес представляет анализ однородности поля вариаций на территории РФ, в связи с чем, согласно оценкам коэффициентов корреляции российских обсерваторий, классифицируем станции на две группы: SUA – LEMI – PAG и IZN – LVV – CRAO. Отдельно подчеркнём высокую связь между тремя МВС: SUA – PAG – LVV.

Перейдём к рассмотрению результатов эксперимента при других условиях геомагнитной активности. Согласно диаграмме трёхчасовых Kp-индексов (рис. 4) 22 апреля 2021 геомагнитная обстановка характеризуется как «спокойная». В этот день зарегистрированы вариации магнитного поля с абсолютной амплитудой до 20 нТл (рис. 5).

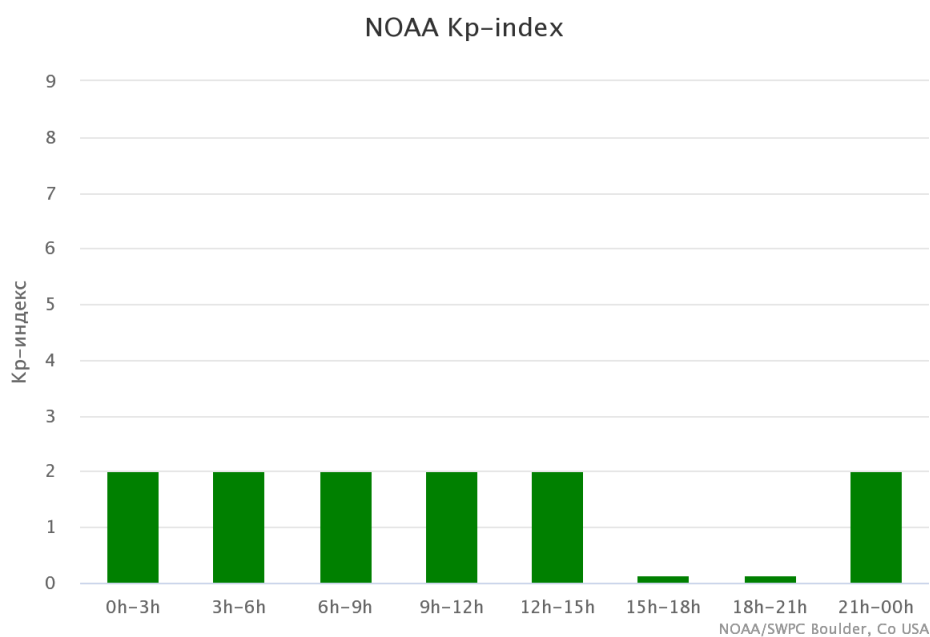


Рис. 4. Диаграмма трёхчасовых Kp-индексов для интервала 22 апреля 2021 года [4]

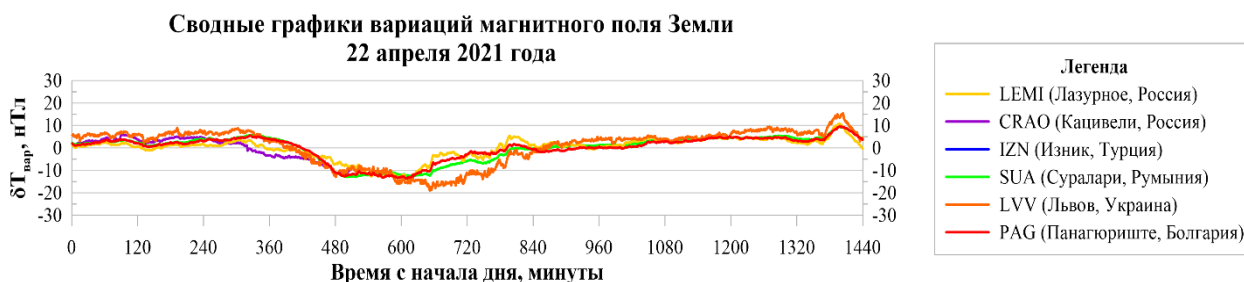


Рис. 5. Сводные графики наблюдаемых значений вариаций магнитного поля, приведённые к условному нулевому уровню за 22 апреля 2021 года

Вариационные кривые имеют привычный вид для низкого уровня геомагнитной активности – плавно меняющийся «ночной» постоянный уровень с наличием высокочастотных колебаний малой амплитуды (до 5 нТл) с последующим понижением уровня вариаций, начинающимся на восходе и завершающимся на закате Солнца с возвращением уровня вариаций к «ночному».

Снова рассмотрим оценку коэффициентов корреляции Пирсона попарно для всех станций (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции Пирсона. 22 апреля 2021

	PAG	LVV	SUA	IZN	CRAO	LEMI
PAG		0.89	0.98		0.77	0.92
LVV	0.89		0.94		0.93	0.82
SUA	0.98	0.94			0.77	0.94
IZN						
CRAO	0.77	0.93	0.77			0.87
LEMI	0.92	0.82	0.94		0.87	

За указанный период отсутствуют данные обсерватория IZN (Турция), в связи с чем значения коэффициентов корреляции не приводятся.

Для данных условия проведения эксперимента прослеживаются близкие закономерности выделения связей между обсерваториями – вариационная кривая станции LEMI (Россия) имеет наиболее близкую структуру к записям станции SUA (Румыния) и станции PAG (Болгария), запись станции CRAO (Россия) – тяготеет к кривой со станции LVV (Украина). Аналогичным образом получаем классификацию станций на две группы: SUA – LEMI – PAG и LVV – CRAO. Также снова выделяется сильная связь между тремя МВС: SUA – PAG – LVV.

Рассмотрим результаты эксперимента при минимальном уровне геомагнитной активности.

Согласно планетарным индексам геомагнитной активности (рис. 6) 6 мая 2021 года геомагнитная обстановка была спокойной. В этот день зарегистрированы вариации магнитного поля с абсолютной амплитудой до 22 нТл (рис. 7).

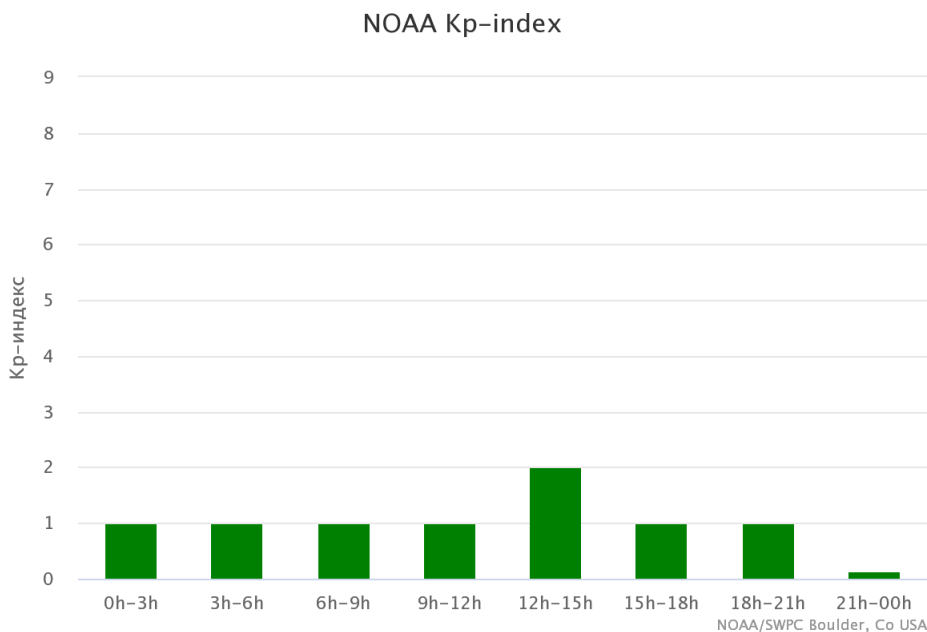


Рис. 6. Диаграмма трёхчасовых Kp-индексов для интервала 6 мая 2021 года [4]

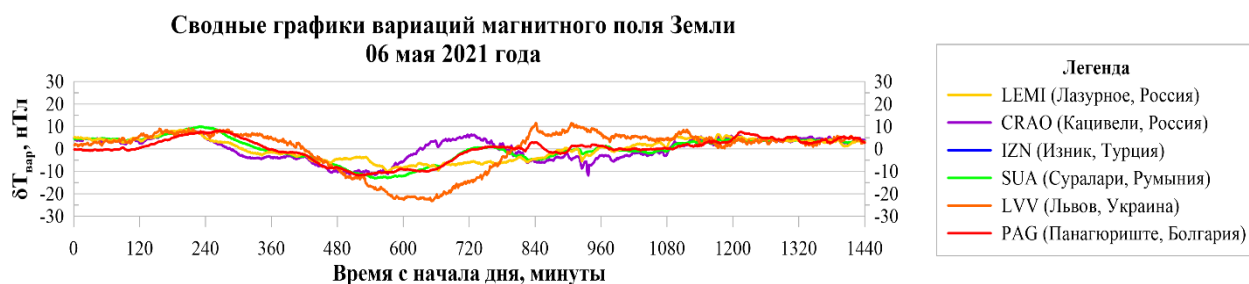


Рис. 7. Сводные графики наблюдаемых значений вариаций магнитного поля, приведённые к условному нулевому уровню за 6 мая 2021 года

Получим оценки коэффициентов корреляции Пирсона при указанных условиях проведения эксперимента (таблица 3).

Таблица 3. Коэффициенты корреляции Пирсона. 6 мая 2021

	PAG	LVV	SUA	IZN	CRAO	LEMI
PAG		0.80	0.75	0.50	0.26	0.74
LVV	0.80		0.91	0.82	0.64	0.75
SUA	0.75	0.91		0.92	0.78	0.86
IZN	0.50	0.82	0.92		0.93	0.76
CRAO	0.26	0.64	0.78	0.93		0.65
LEMI	0.74	0.75	0.86	0.76	0.65	

В период отсутствия планетарной геомагнитной активности можно выделить несколько характерных особенностей:

- Во-первых, в целом корреляция записей ослабла для всех станций – экстремумы коэффициентов корреляции уменьшились по модулю;
- Во-вторых, унаследованы самые сильные попарные связи для российских обсерваторий из приведённых выше классификаций: SUA – LEMI и IZN – CRAO;
- В-третьих, в период пониженной активности практически нивелирована связь обсерваторий SUA – PAG – LVV.
- Наконец, для наиболее сближенных обсерваторий CRAO и LEMI наблюдается самое низкое значение коэффициента корреляции из всех приведённых попарных связей для российских обсерваторий.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе проведения эксперимента получены оценки коэффициентов корреляции вариационных кривых стационарных магнитометрических обсерваторий, рассмотрены связи наблюдаемых значений вариаций магнитного поля для оценки пространственной неоднородности вариаций магнитного поля в окрестностях Чёрного моря.

По завершении исследования можно выделить следующие ключевые результаты:

- При значениях К_p-индекса геомагнитной активности в диапазоне [0; 5] наблюдаются существенные отличия для вариационных кривых с обсерваторий, установленных в п.г.т. Кацивели (CRAO) и с. Лазурное (LEMI). Таким образом при проведении детальных гидромагнитных съёмок учет вариаций с МВС, расположенных на суше более чем 100 км является некорректным. При решении высокоточных прикладных задач магнитометрии в центральной части Чёрного моря рекомендуется применение дифференциального метода измерений магнитного поля, без учета вариаций с стационарных МВС.
- Выделяется группа обсерваторий, характеризующаяся сильной прямой корреляцией в условиях геомагнитной активности при значении К_p-индекса в диапазоне [2; 5]: LVV (Львов, Украина), SUA (Суралари, Румыния) и PAG (Панагюриште, Болгария). Однако при минимальной

геомагнитной активности $K_p < 2$ эта связь пропадает. Авторы выдвигают гипотезу о существовании магнитных эффектов, которые проявляются в периоды повышенных значений геомагнитной активности и характеризуются формированием синфазных магнитных вариаций близких по амплитуде.

Таким образом, геомагнитная обстановка в окрестностях Чёрного моря характеризуется значительной степенью неоднородности, в ходе исследования удалось выделить некоторые закономерности пространственного распределения этой неоднородности, которые могут лечь в основу будущих исследований в области изучения вариаций магнитного поля Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съёмка, аэромагнитная съёмка, гидромагнитная съёмка)/М-во геологии СССР. – Л.: Недра, 1981. – 263 с.
2. Международная сеть магнитных обсерваторий реального времени Intermagnet – (<https://intermagnet.github.io/>)
3. Айвазян С.А. «Прикладная статистика: исследование зависимостей», Москва, 1985
4. Space Weather Live – real time solar activity (Archive) (<https://www.spaceweatherlive.com/ru.html>)

GEOMAGNETIC SITUATION AROUND THE BLACK SEA ACCORDING TO THE DATA OF STATIONARY MAGNETIC VARIATION STATIONS

Vishniakov D.D., Arutyunyan D.A., Shklyaruk A.D., Khotenko E.N.

The article considers the data of foreign and domestic magnetic variation stations (MVS). The results of the analysis and some conclusions about the structure of variations in the Earth's magnetic field in the vicinity of the region under consideration are presented.

KEYWORDS: MAGNETOMETRIC SURVEY, EARTH MAGNETIC FIELD (EMF), SPACE WEATHER, MAGNETOSPHERE, MAGNETIC FIELD VARIATIONS, GEOMAGNETIC PERTURBATIONS.