

Поступила в редакцию25.04.2025 г.Опубликована23.05.2024 г.

ISSN 2304-7380

УДК 550.837.211

ВАРИАЦИИ СУТОЧНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ КОМПОНЕНТ МТ ПОЛЯ

В. А. Куликов¹, Д. В. Епишкин², А. П. Ионичева², Н. М. Шагарова¹

¹Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия ²ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Троицк, Москва, Россия

В статье анализируется связь между спектральной плотностью и параметрами солнечной активности по результатам измерений, которые проводились в центральной части Восточно-Европейской платформы с 2020 по 2025 гг. в летнее и зимнее время на фоне постепенного роста солнечной активности. Обработка данных и расчет спектров компонент МТ поля проводились в программах EPI-KIT и Aero MT Viewer. Важной особенностью данной работы является почасовой анализ спектров и выявление временных интервалов с наибольшей интенсивностью МТ поля в разных частотных диапазонах, что позволяет оптимально подбирать время записи под исследуемые задачи.

Ключевые слова: МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ, МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ ЗОНДИРОВАНИЯ

EDN: CVBUJO

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из ведущих и наиболее востребованных методов электрической разведки является магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), основанное на использовании естественного переменного электромагнитного (ЭМ) поля Земли (магнитотеллурическое (МТ) поле). Источники низкочастотного (<1 Гц) МТ поля находятся в ионосфере и связаны с потоком заряженных частиц, исходящих от Солнца. При достижении магнитосферы Земли этот поток разделяется на две части – положительно и отрицательно заряженных частиц, закручивающихся вдоль силовых линий Земного магнитного поля [Алексанова и др., 2018].

Высокочастотная (>1 Гц) часть МТ поля Земли связана с грозовой активностью и источниками техногенного происхождения (поля дальних и ближних радиостанций, теле- и радиокоммуникаций, линий ЛЭП и т.д.).

Качество данных, получаемых в магнитотеллурических методах, зависит от интенсивности и спектральной плотности естественного ЭМ поля Земли. В частности, значительное влияние на результат МТЗ оказывают спектральные минимумы естественного поля, которые есть и в низкочастотной, и в высокочастотной частях спектра.

Установление связи между спектральной плотностью электрических и магнитных компонент МТ поля и солнечной активностью, а также изучение суточного режима колебаний амплитуды

Куликов Виктор Александрович e-mail: vic@nw-geophysics.ru Епишкин Дмитрий Викторович e-mail: dmitriepishkin@mail.ru Ионичева Анна Павловна e-mail: yaroslavtseva.anna@gmail.com Шагарова Наталья Максимовна e-mail: natashashagarova2000@gmail.com



https://elibrary.ru/cvbujo

Адрес редакции журнала «Гелиогеофизические исследования»:

ФГБУ «ИПГ» 129128; Россия, Москва ул. Ростокинская, 9. e-mail: vestnik@ipg.geospace.ru

Электронная почта авторов для переписки:

электрического и магнитного полей, могут помочь в выборе режима и длительности регистрации для достижения максимального качества с минимальными временными затратами.

Для решения поставленной задачи были проанализированы полевые МТ данные, полученные в период с января 2020 г. по февраль 2025 г. на участке 300×300 км, в юго-западной части Московской синеклизы (рис. 1) в ходе проведения 8 экспедиций, осуществлявшихся как в летний, так и в зимний периоды [Куликов и др., 2023; Куликов и др., 2024; Куликов и др., 2021]. Общий объём данных, участвовавших в анализе, составил 250 ф.н. методом МТЗ.

Регистрация компонент МТ поля осуществлялась с помощью электроразведочных станций МЭРИ-ПРО и NORD, разработанных в компании ООО «Северо-Запад», с использованием индукционных датчиков IMS-010 и IMS-015 производства ООО «Вега».



Рис. 1. Положение точек измерений методом МТЗ в период с января 2020 по февраль 2025 гг.

2. ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ МТ ПОЛЯ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА РЕЗУЛЬТАТА

Для обработки временных рядов и получения спектров отдельных компонент МТ поля использовались программы – EPI-KIT и Aero MT Viewer, разработанные в компании ООО «Северо-Запад» (автор – Епишкин Д.В).

Вычисление спектров (рис. 2) в данных программах происходит с помощью фиксированного временного окна, которое движется по временному ряду. Для каждого его положения убирается линейный тренд, затем выполняется преобразование Фурье с использованием одной из оконных функций (прямоугольная, Хемминга, Блэкмана-Наталла, Гаусса, плосковершинная). Использование оконных функций уменьшает эффект рассеивания спектральной энергии на соседние частоты [Епишкин, 2018]. Для диапазона периодов от 0.001 до 100 с спектральные плотности электрического и магнитного полей вычислялись для каждого часа, для периодов более 100 с для каждых трех часов записи.

Для оценки качества результатов обработки магнитотеллурических данных использовалась программа «QC-QA», разработанная в ООО «Северо-Запад» (http://nw-geo.ru/qc-qa).



Рис. 2. Рабочее окно программы Aero MT Viewer. На графиках показаны спектральные плотности различных компонент МТ поля и оценки когерентности между выбранными компонентами для заданного времени (вверху) и для выбранной частоты (внизу)

3. ПАРАМЕТРЫ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ

Один из главных показателей солнечной магнитной активности – количество солнечных пятен. Солнечные пятна являются областями выхода в фотосферу сильных магнитных полей. Потемнение фотосферы в пятнах обусловлено подавлением магнитным полем конвективных движений вещества и, как следствие, снижением потока переноса тепловой энергии в этих областях.

В случае, если пятен много, то существует высокая вероятность того, что произойдет солнечная вспышка. Всплеск излучения, достигая Земли, вызывает сильные возмущения её магнитного поля. Вспышки также порождают поток радиации во всех диапазонах электромагнитного спектра, от радиоволн до рентгеновских и гамма-лучей [URL:www.infuture.ru].

Солнечный цикл связан с частотой появления пятен, их активностью и сроком жизни. Один цикл охватывает примерно 11 лет. Измерения МТ поля, результаты которых анализируются в данной работе, были получены в течение первой фазы 25-го цикла солнечной активности, на фоне ее роста, с 2020 по 2025 гг. (рис. 3).

Солнечную активность оценивают также по амплитуде теплового рентгеновского всплеска в диапазоне энергий 0.5–10 кэВ. По этой классификации [Priest, 1981] солнечная вспышка обозначается одной из латинских букв A, B, C, M, X и индексом за ней. Интенсивность излучения между буквами различается на порядок (A1 = 10^{-8} BT/M²; X1 = 10^{-4} BT/M²), а индекс указывает, во сколько раз сильнее вспышка, чем нулевой уровень [Сотникова, 2013].

Для оценки геомагнитной активности используют индексы К, Кр и Ар.

Индекс К представляет собой отклонение магнитного поля Земли от нормы в течение трёхчасового интервала. Индекс был введён Юлиусом Бартельсом в 1938 году и представляет собой значения от 0 до 9 для каждого трёхчасового интервала. Индекс рассчитывается на основе регистрации горизонтальных компонент магнитной индукции в течение трёх часов.

[©] Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова



Рис. 3. Количество солнечных пятен за месяц с 2020 г. по н.в. [URL: www.spaceweatherlive.com]

Кр-индекс или планетарный К-индекс определяется как средневзвешенное значение, полученное в 13 магнитных обсерваториях, расположенных в субавроральной зоне.

Ар-индекс вычисляется по значениям Кр-индекса и представляет изменение наиболее возмущенного элемента магнитного поля D или H в трехчасовом интервале времени на среднеширотных станциях. Ар-индекс называют планетарной амплитудой в трехчасовом интервале [URL: www.wdcb.ru].

4. ЭТАПЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ

По результатам обработки записей МТ поля авторами была сформирована база данных спектральной плотности двух ортогональных компонент электрического и магнитного полей по всем точкам регистрации для каждого часа записи в частотном диапазоне от 0.001 до 1000 Гц. Для упрощения анализа и повышения наглядности результатов, весь частотный диапазон был разбит на шесть поддиапазонов, в границах которых было выполнено осреднение значений. Эти поддиапазоны обозначены следующим образом: ВЧ1 (10^3 Гц – 10^2 Гц); ВЧ2 (10^2 Гц – 10^1 Гц); СЧ1(10^1 Гц – 10^0 Гц); СЧ2 (10^0 Гц – 10^{-1} Гц); НЧ1 (10^{-1} Гц – 10^{-2} Гц); НЧ2 (10^{-2} Гц – 10^{-3} Гц).

Предварительные оценки первичных данных по когерентности показали, что качество широтных и меридиональных компонент поля примерно одного уровня, поэтому на следующем этапе было выполнено осреднение по двум компонентам электрического и магнитного поля.

На первом этапе работы, на основе коэффициента корреляции Пирсона и в графическом виде, было выполнено сопоставление амплитуд компонент МТ поля в разных частотных поддиапазонах с параметрами солнечной активности.

Второй этап работы был посвящен анализу суточных вариаций спектральной плотности электрического и магнитного полей. В том числе были рассмотрены различия между суточными колебаниями разных частотных поддиапазонов МТ поля в зависимости от сезона. В результатах анализа представлена только магнитная компонента МТ поля, так как электрическое поле больше подвержено влиянию помех, особенно гальванической природы.

5. ПЕРВЫЙ ЭТАП. СОПОСТАВЛЕНИЕ С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

В таблице 1 приведены данные по всем восьми экспедициям с осредненными значениями параметров солнечной и геомагнитной активности для временного интервала, охватывающего каждый выезд. Три экспедиции № 1, 3, 8 проводились в зимний период (январь-февраль), пять экспедиций проводились в летний сезон (июнь – август).

За период измерений с января 2020 г. по февраль 2025 г. солнечная активность существенно выросла, что выражается и в количестве солнечных вспышек разного класса, в интенсивности рентгеновского потока, в средних значениях планетарной геомагнитной активности (табл. 1). Качество результатов обработки данных МТЗ также выросло с 2020 г. от средней оценки 3.5 до 4 – 4.4 (табл. 1).

Выезды	Кол-во ф.н.	Даты	Кр	Ар	РП	C+M+X	QC-QA
1	24	26.01.2020 - 01.02.2020	2.6	5.2	1.03E-08	0	3.5
2	16	11.08.2020 - 15.08.2020	1.4	3.8	1.69E-08	0	3.7
3	31	26.01.2022 - 02.02.2022	3.5	10	5.15E-07	12	3.8
4	43	08.07.2022 - 19.07.2022	3	9	1.04E-06	14	4.1
5	53	08.07.2023 - 21.07.2023	3.1	9.2	1.70E-06	28	4.3
6	25	20.06.2024 - 27.06.2024	2.6	9.3	2.39E-06	22	4.4
7	35	15.07.2024 - 23.07.2024	2.3	5.4	2.19E-06	51	4.4
8	22	27.01.2025 - 03.02.2025	2.9	10	1.93E-06	38	4

Таблица 1. Даты экспедиций, средние значения индексов солнечной активности и качества результатов обработки данных МТЗ по оценкам программы QC-QA.

РП – интенсивность рентгеновского потока в Bт/м²; C+M+X – среднее количество вспышек C, M и X класса; QC-QA - качество МТ данных.

В таблице 2 (левая часть) представлены коэффициенты корреляции между осредненными амплитудами магнитного поля для каждого из шести частотных диапазонов с одной стороны и параметрами солнечной и геомагнитной активности с другой. Данные коэффициенты рассчитаны по всем 75 дням, в которые выполнялась регистрация МТ поля в течение всех 8 полевых выездов. В таблице 2 (правая часть) для сравнения приведены аналогичные коэффициенты корреляции, но рассчитанные для осреднённых параметров для всех дней каждой из 8 экспедиций.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции между плотностью спектров магнитной компоненты МТ полей, параметрами солнечной активности и качеством результатов обработки данных по оценкам программы QC-QA. Слева – расчет по 75 дням, когда велась регистрация, справа – расчет по средним значениям за каждую экспедицию.

C-QA

ЧД	Кр	Ap	РΠ	Вспышки	QC-QA	ЧД	Кр	Ар	РΠ	Вспышки	QC-Q
ВЧ1	-0.1	-0.1	0	-0.1	0.2	ВЧ1	-0.3	-0.4	-0.1	-0.2	0.3
ВЧ2	-0.1	-0.1	0.4	0.2	0.4	ВЧ2	-0.3	-0.2	0.3	0.3	0.7
СЧ1	-0.1	0	0.5	0.4	0.4	СЧ1	-0.2	-0.1	0.5	0.4	0.8
СЧ2	0.3	0.4	0.7	0.5	0.5	СЧ2	0.2	0.4	0.8	0.7	0.8
НЧ1	0.5	0.6	0.3	0	0.2	НЧ1	0.8	0.9	0.8	0.4	0.4
НЧ2	0.6	0.7	0.4	0.2	0.3	НЧ2	0.8	0.6	0.5	0.3	0.4

ЧД – частотный диапазон; РП – интенсивность рентгеновского потока в Вт/м²;

Вспышки – среднее количество солнечных вспышек за день; QC-QA – качество МТ данных.

На основе анализа коэффициентов корреляции (табл. 2), а также графического сопоставления плотности спектров МТ поля и параметров солнечной активности, были сделаны следующие выводы.

Амплитуды низкочастотных колебаний МТ поля характеризуются средними и высокими положительными коэффициентами корреляции с индексами геомагнитной активности Кр и Ар. Корреляция растет с понижением частоты и для периодов более 100 с составляет 0.6-0.8 (рис. 4). Вся высокочастотная часть МТ-поля (выше 1 Гц) корреляции с коэффициентами геомагнитной активности не имеет.

Во всем частотном диапазоне, кроме диапазона ВЧ1, наблюдается положительная корреляция между плотностью спектра магнитного поля и интенсивностью рентгеновского излучения, а также количеством солнечных вспышек. Наибольшие значения коэффициентов корреляции с рентгеновским потоком (0.5–0.7) наблюдаются для средних частот магнитного поля (от 0.01 до 10 Гц) (рис. 5).

Качество результатов обработки данных МТЗ по оценке программы QC-QA практически для всех частот имеет положительную корреляцию (>0.2) с плотностью спектра обеих компонент МТ поля. Наиболее высокие коэффициенты корреляции для магнитного поля (0.5-0.8) фиксируются в диапазоне средних и высоких частот (от 0.1 до 100 Гц), а для электрического поля (рис. 6) на самых высоких частотах (100-1000 Гц) и на низких частотах (< 0.1 Гц).





Рис. 4. Графическое сопоставление индекса Ар с плотностью спектра низкочастотного диапазона магнитного поля (<0.01 Гц)

Рис. 5. Графическое сопоставление количества солнечных вспышек с плотностью спектра среднечастотного диапазона магнитного поля (0.1-1 Гц)

Приведенные расчеты показывают, что:

- плотность спектра электрического и магнитного полей Земли имеет положительную корреляцию с общим количеством солнечных вспышек и интенсивностью рентгеновского потока. Максимум коэффициента корреляции между амплитудой колебаний электрического поля и солнечной активностью приходится на диапазон частот от 0.01 до 10 Гц, а для магнитного поля на более высокие частоты (0.1-100 Гц). На самых больших периодах коэффициенты корреляции снижаются;
- плотность высокочастотного спектра ЭМ поля Земли до частоты 1 Гц не имеет корреляции с индексами геомагнитной активности Кр и Ар. На низких частотах более высокий уровень корреляции с индексами Кр и Ар фиксируется для магнитного поля. На частотах ниже 0.01 Гц он превышает значение 0.5;
- качество данных МТЗ тесно связано с плотностью спектра как магнитного, так и электрического полей. Наибольшее влияние на результат обработки оказывает плотность спектра средних и высоких частот (0.1-100 Гц) магнитного поля, а также самая

высокочастотная (100-1000 Гц) и низкочастотная (<0.1 Гц) части спектра электрического поля (рис. 6).



Рис. 6. Графическое сопоставление качества результатов обработки МТ данных в программе QC-QA с плотностью спектра низкочастотного диапазона электрического поля

6. ВТОРОЙ ЭТАП. АНАЛИЗ СУТОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛОТНОСТИ СПЕКТРА

На втором этапе был проведён анализ суточных колебаний амплитуды электрического и магнитного полей, его изменения, происходившие за пятилетний цикл измерений.

На рисунке 7 представлены диаграммы плотности спектра магнитного и электрического полей в зависимости от времени суток (время Московское) для всего набора данных. Также, как и на предыдущем этапе, частотный диапазон 0.001 – 1000 Гц разбит на шесть поддиапазонов.

Для всех частотных поддиапазонов отмечается высокая корреляция между почасовым изменением плотности спектра между компонентами магнитного и электрического полей. Максимальные значения коэффициента корреляции (0.99) характерны для частотных диапазонов ВЧ2 (100-1000 Гц) и НЧ1 (10-100 с). Самая низкая корреляция между часовыми колебаниями электрического и магнитного поля (0.9-0.94) характерна для частотного диапазона СЧ2 (период 1-10 с) и диапазона НЧ2 (100-1000 с). Диапазон СЧ2 приходится на область спектрального минимума ЭМ поля, а в области больших периодов снижение корреляции, предположительно, можно связать с меньшим количеством накоплений за трехчасовой период. Учитывая высокую корреляцию часовых колебаний между электрическим и магнитным полем, дальнейшие выводы будут проиллюстрированы только расчетами по магнитной компоненте.

Для магнитной компоненты почасовые изменения плотности спектра представлены в виде классификационной карты (рис. 8), где по оси абсцисс отложено время наблюдений, а по оси ординат – частотный диапазон. Цветом показаны максимальные и минимальные значения амплитуды магнитного поля в границах каждого частотного диапазона. Первая карта построена по всем данным, вторая по данным, полученным в летние месяцы, третья карта – по данным, полученным только в зимние месяцы.

[©] Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова



Рис. 7. Графики почасовой плотности спектра разных частотных поддиапазонов МТ поля по всему набору данных

Анализируя представленные карты, можно отметить интересные временные закономерности:

- 1. для всех частот более низкая интенсивность поля наблюдается в ночные и утренние часы, от 0 до 11-12 часов;
- 2. минимумы и максимумы амплитуды МТ поля по мере увеличения частоты колебаний смещаются вправо по временной шкале. Например, для частот 0.01-0.1 Гц минимальный уровень поля приходится на 0-1 ч, для частот 0.1-1 Гц на 1-2 ч, для частот 10-100 Гц на 5-6 ч, а для частот 100-1000 Гц на 8-9 ч (рис. 8). Подобное смещение фиксируется и для максимальных значений амплитуды поля с 10-12 ч для частот 0.001-0.1 Гц до 21-23 ч для частот 100-1000 Гц;
- несколько нарушают выявленную закономерность только самые низкие частоты диапазона НЧ1 (< 0.01 Гц), но это можно связать с тем фактом, что осреднение самых низких частот проводилось не по часовому, а по трехчасовому интервалу;
- 4. графики часовых колебаний электрического и магнитного полей, полученные в зимний и летний период, несколько различаются при сохранении общих закономерностей, описанных в п.2. В зимний период максимальные амплитуды низких и средних частот (до 10 Гц) приходятся на узкий временной диапазон от 10 до 14 ч. В летний период максимальный уровень высокочастотной и среднечастотной части поля приходится на небольшой период вечерних часов от 16 до 19 ч. В итоге, на суммарных графиках плотности спектра (рис. 7) на частотах от 0.1 до 100 Гц наблюдаются два максимума зимний в районе 10-12 ч и летний в районе 15-18 ч;
- 5. амплитуда поля на средних и высоких частотах в зимний период снижается (рис. 9). На низких частотах (10-1000 с) уровень поля по результатам зимних измерений не уступает летним. Максимальные изменения суточных колебаний амплитуды в зимний и летний периоды характерны для диапазонов СЧ2 (1-10 с) и НЧ2 (100-1000 с).



Рис. 8. Карты почасовой плотности спектра магнитного поля по всем данным и по данным, полученным в летний и зимний периоды.



© Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова

Рис. 9. Графики почасовой плотности спектра разных частотных диапазонов магнитного поля по летним и зимним измерениям

Низкий уровень поля на средних частотах хорошо иллюстрирует карта, построенная в координатах время/номер экспедиции (рис. 10).

В поддиапазоне НЧ2 низкими значениями амплитуды МТ поля отмечаются первые экспедиции, проводившиеся в 2020 году, при минимальной солнечной активности. А на средних частотах наиболее ярко выделяются из всего набора данных именно зимние измерения.



Рис. 10. Карты почасовой плотности спектра магнитного поля по всем выездам. Частотные диапазоны ВЧ2, СЧ1, НЧ2

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приступая к данной работе, авторы ставили перед собой практическую задачу корректировки режима записи магнитотеллурического поля для получения лучшего соотношения между качеством результата МТЗ и временными затратами. Зная прогноз геомагнитной и солнечной активности, а также закономерности суточных изменений плотности спектра компонент МТ поля в разных частотных поддиапазонах, можно существенно оптимизировать сроки проведения экспедиции, время запуска станций и длительность регистрации в зависимости от поставленной геологической задачи.

Например, зимой 2025 года при проведении полевых работ стояла задача уточнения геоэлектрической модели осадочного чехла и верхнего этажа кристаллического фундамента в районе г. Старая Русса. Анализ выполненных ранее зондирований на данном участке показал, что интересующие глубины максимально сказываются в диапазоне средних и высоких частот МТ-поля от 0.1 до 1000 Гц. Для регистрации этого диапазона подходит режим аудиомагнитотеллурических зондирований (AMT3), и в первые дни авторы ограничились 2-3-часовыми записями в дневные часы от 10 до 14 часов. Однако, даже несмотря на большую для АМТЗ длительность записи, качество данных в высокочастотном диапазоне оставалось низким. Переход на суточную длительность записи сильно сократил общий объем наблюдений. Выполненный анализ объясняет низкое качество дневных

записей тем, что до 15 ч дня высокочастотный поддиапазон (10-1000 Гц) МТ поля характеризуется минимальными амплитудами, а максимум спектра высоких частот приходится на вечерние и ночные часы (рис. 8).

Для выбора сроков проведения экспедиций был выполнен анализ корреляции между общепринятыми оценками солнечной и геомагнитной активности и плотностью спектра компонент магнитотеллурического поля в частотных диапазонах, которые используются в МТЗ. Учитывая, что метод МТЗ основан на регистрации естественного ЭМ поля Земли, то такая корреляция безусловно должна существовать, однако, измеряемые в процессе полевых работ электрическое и магнитное поля подвержены сильному влиянию разного типа помех. Во всем измеряемом частотном диапазоне присутствуют сигналы от источников, природа и параметры которых не известны. Они вносят свой вклад в суммарную спектральную плотность, влияя на результат зондирования. Кроме того, на амплитуду поля оказывает влияние и геоэлектрический разрез. Например, высокая амплитуда низкочастотных колебаний магнитного поля, наблюдаемая в экспедиции зимой 2025 года, связана с тем, что большая часть зондирований выполнялась над осью крупной коровой проводящей структуры – Ильменской аномалии электропроводности.

Анализ корреляционных зависимостей показал, что:

- индексы геомагнитной активности Кр и Ар имеют высокую корреляцию с плотностью магнитной компоненты МТ поля только на низких частотах. Все частоты выше 1 Гц с индексами геомагнитной активности не коррелируют. Ориентироваться на прогноз уровня Кр или Ар необходимо только в случае проведения глубинных зондирований, когда наибольшее внимание отводится низкочастотному диапазону поля. Максимум устойчивых и регулярных короткопериодных пульсаций (КПК), которые относятся к диапазону НЧ1, приходится на утренние и дневные часы от 8 утра до 17 вечера, а более низкие частоты (>100 с) характеризуются примерно одинаковой интенсивностью в течение суток, за исключением ранних утренних часов, когда их амплитуда минимальна (рис. 8);
- если целью работ является получение максимально высокого качества на средних частотах (от 0.01 до 100 Гц), то лучше полагаться на прогноз интенсивности рентгеновского потока или солнечных вспышек. Максимальный уровень поля на этих частотах фиксируется в дневные и вечерние часы с 12 до 23 ч;
- самые высокие частоты, регистрируемые в методе АМТЗ (100-1000 Гц), максимальны в ночные часы и не имеют положительной корреляции ни с параметрами солнечной активности, ни с индексами геомагнитной активности. Низкая интенсивность высокочастотных колебаний МТ поля в дневные часы связана с тем, что днём под действием солнца нижние слои ионосферы ионизируются и начинают поглощать частоты в этом диапазоне;
- качество результатов обработки данных МТЗ и АМТЗ тесно связано с плотностью спектров магнитного и электрического полей. Самые высокие коэффициенты корреляции фиксируются на средних частотах, т.е. результат обработки зависит именно от плотности спектра в диапазоне 0.1 – 100 Гц.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексанова Е.Д., Бобачев А.А., Епишкин Д.В., Зорин Н.И., Куликов В.А., Модин И.Н., Пушкарев П.Ю., Шевнин В.А., Шустов Н.Л., Яковлев А.Г. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей, том I, издание 2 // Под ред. И.Н. Модина, А.Г. Яковлева. Полипресс Тверь, 2018. 276 с.
- *Епишкин Д.В.* Развитие методов обработки данных синхронных магнитотеллурических зондирований // Дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2018. 132 с.
- Куликов В.А., Варенцов Ив М., Иванов П.В., Ионичева А.П., Колодяжный С.Ю., Королькова А.В., Лозовский И.Н., Родина Т.А., Яковлев А.Г. Результаты глубинных магнитотеллурических исследований в районе Слободского геодинамического узла (Восточно-Европейская платформа) // Вестник Камчатской региональной ассоциации "Учебно-научный центр". Серия: Науки о Земле, издательство Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский). Т. 60, № 4, 2023. С. 5-21.

[©] Институт прикладной геофизики имени академика Е. К. Федорова

- Куликов В.А., Варенцов И.М., Иванов П.В., Ионичева А.П., Колодяжный С.Ю., Лозовский И.Н., Родина Т.А., Слинчук Г.Е., Яковлев А.Г. Результаты глубинных магнитотеллурических исследований по профилю Пушкинские Горы Андреаполь // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, издательство Изд-во Моск. ун-та (М.). № 2, 2024. С. 136-144.
- Куликов В.А., Ионичева А.П., Лубнина Н.В., Шустов Н.Л., Яковлев А.Г. Новые магнитотеллурические данные для зоны сочленения Фенноскандии и Сарматии // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, издательство Изд-во Моск. ун-та (М.). № 2, 2021. С. 3-11.
- Сотникова Р.Т. Единая база данных параметров рентгеновских вспышек и групп пятен разных классов (McIntosh) за три цикла солнечной активности 1977–2007 гг. // Солнечно-земная физика. 2013. С. 37–40.
- Priest E.R. Flare classification // Solar flare magnetohydrodynamics. Gordon and Breach Science Publishers. 1981. 564 p.
- Infuture. Новости науки и техники. URL: www.infuture.ru.
- SpaceWeatherLive. Полярные сияния и солнечная активность в реальном времени. URL: www.spaceweatherlive.com.
- WDCB. Мировые центры данных в России. URL: www.wdcb.ru.

DAILY VARIABILITY IN THE SPECTRAL DENSITY OF MAGNETOTELLURIC FIELD COMPONENTS

Kulikov V.A., Epishkin D.V., Ionicheva A.P., Shagarova N.M.

The article contains analysis of the relationships between spectral density and solar activity param-eters based on the results of measurements that were carried out in the central part of the East European Platform from 2020 to 2025 in summer and winter on the background of a gradual increase of solar activity. Data pro-cessing and calculation of the spectra of the MT field components were carried out in the EPI-KIT and Aero MT Viewer programs. An important feature of this work is the hourly analysis of the spectra and the identification of time intervals with the highest intensity of the MT field in different frequency ranges, which makes it possible to optimally select the recording time for the tasks under study.

KEYWORDS: MAGNETOTELLURICS, SOLAR ACTIVITY, MAGNETOTELLURIC SOUNDINGS