ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 550.34.062 + 550.34.063

Научная статья

Сезонное изменение частотных характеристик естественного импульсного электромагнитного поля Земли

В. Ф. Гордеев, В. А. Крутиков, С. Ю. Малышков, В. И. Поливач

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН), Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3

E-mail: gordeev@imces.ru

В результате постоянного мониторинга интенсивности импульсного потока в диапазоне очень низких частот, впервые зарегистрировано сезонное изменение частотных характеристик естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Исходя из общепринятых физических представлений о причинах появления литосферной составляющей ЕИЭМПЗ, основанных на механоэлектрических преобразованиях в горных породах, можно предположить, что изменение низкочастотной составляющей ЕИЭМПЗ в среднесуточных вариациях интенсивности сигнала может быть связано с изменением физико-механических свойств и структуры литосферы. Дальнейшие исследования зависимости суточных и сезонных изменений электромагнитных полей в различных частотных диапазонах позволят получить новые знания о механизмах формирования ЕИЭМПЗ, оценить долю литосферной составляющей в структуре этих полей. Прикладным применением поставленных исследований будет оптимизация методов и оборудования раннего оповещения активизации опасных геодинамических процессов, новые критерии оценки напряженно-деформированного состояния горных пород.

Ключевые слова: мониторинг, естественное импульсное электромагнитное поле Земли, ЕИЭМПЗ, литосфера.

DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-199-208

Поступила в редакцию: 12.10.2020

В окончательном варианте: 08.11.2020

Для цитирования. Гордеев В. Ф., Крутиков В. А., Малышков С. Ю., Поливач В. И. Сезонное изменение частотных характеристик естественного импульсного электромагнитного поля Земли // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.* 2020. Т. 33. № 4. С. 199-208. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-199-208

Контент публикуется на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Гордеев В. Ф. и др., 2020

Финансирование. Исследования Гордеева В. Ф. и Малышкова С. Ю. выполнены при финансовой поддержке РФФИ (Грант №18-47-700005 р_а). Исследования Крутикова В. А. и Поливача В. И. выполнены в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН.

Исходные данные

В Институте мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС СО РАН) ведутся систематические наблюдения интенсивности импульсного потока в диапазоне очень низких частот (5–25 кГц) в различных регионах России с целью разработки новых геофизических методов, основанных на регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Методы предназначены для поиска месторождений полезных ископаемых, раннего оповещения активизации опасных геодинамических процессов (оползни, землетрясения, провалы на подрабатываемых территориях и др.) [7, 6, 1].

Ранее измерения велись на частоте 14.5 ± 0.5 кГц в различных регионах Северного полушария. По результатам многолетнего мониторинга были получены типичные сезонные и суточные хода интенсивности ЕИЭМПЗ связанные с длиннопериодными деформационными волнами по данным Малышкова Ю.П., Малышкова С.Ю. (2009) [2]. В 2019 году впервые в трех пунктах наблюдения: стационар "Киреевск", "Полынянка" и район Томского аэропорта (Рис. 1) был организован одновременный мониторинг на разных частотах регистрации в ОНЧ-диапазоне. Расстояние между соседними пунктами регистрации составляло около 70 км.

Рис. 1. Местоположения точек наблюдения

Методы исследования

В качестве базовых инструментальных средств использовались многоканальные геофизические регистраторы «МГР-02-16» (Рис. 2), которые позволяют анализировать как временные, так пространственные вариации интенсивности естественного импульсного электромагнитного поля Земли.

Количество измерительных каналов для регистрации магнитной составляющей ЕИЭМПЗ – 2 взаимно ортогональных;

Резонансная частота приема сигнала по магнитной составляющей ЕИЭМПЗ устанавливается программно от 5 до 25 кГц с шагом дискретизацией 2.5 ± 0.5 кГц;

Коэффициент преобразования датчика канала магнитной составляющей, не менее 0.001 В·м/А;

Коэффициент усиления изменяется (через ЦАП и компаратор) от 0 до 84 дБ (от 1 до 16000);

Опорное напряжение компаратора регулируется - 1.2 мВ - 2.5 В с дискретом 1.2 мВ;

Объем памяти для хранения зарегистрированных данных 4 МБ;

Рис. 2. Внешний вид многоканального геофизического регистратора "МГР-02-16"

Встроенный GSM модем для передачи зарегистрированных данных на HTTP сервер по GPRS каналу.

В качестве параметров ЕИЭМПЗ «МГР-02-16» регистрирует:

- количество импульсов магнитной составляющей поля за выбранный интервал времени, амплитуда которых превысила заданный порог;
- амплитуду импульсов магнитной составляющей;

Регистратор предназначен для:

- мониторинга геодинамических движений земной коры методами регистрации ЕИЭМПЗ [4];
- изучения глубинного строения земной коры, обнаружения в земной коре скрытых геологических разломов, разрывных нарушений, поиска месторождений полезных ископаемых, включая месторождения нефти и газа [5];
- оценки сейсмической ситуации на сейсмоактивных территориях [3];
- прочих исследований, связанных с регистрацией ЕИЭМПЗ.

Регистратор может использоваться для проведения фундаментальных исследований в разделе Наук о Земле, в области исследования взаимосвязи литосферных процессов с атмосферой, в разработке систем оперативного прогноза землетрясений. При исследовании кинетики и механики криогенных процессов в условиях глобального изменения климата.

Результаты и их обсуждение

На рис. 3а представлена среднечасовая интенсивность импульсного потока ЕИЭМПЗ (имп./мин.) от времени (по Гринвичу) с 29 марта по 04 апреля 2019 года для трех различных пунктах наблюдения по двум взаимно ортогональным направлениям приема (верхний график – Север-Юг, нижний – Запад-Восток).

При этом у всех регистраторов была установлена резонансная частота приема 17.5 ± 0.5 кГц. Из графиков отчетливо наблюдается высокая повторяемость для всех точек регистрации временных вариаций интенсивности сигналов ЕИЭМПЗ.

Рис. 3. Временные вариации ЕИЭМПЗ с 29 марта по 04 апреля 2019 года а) – среднечасовая интенсивность; б) – усредненный суточный ход; в) – типичный суточный ход для апреля месяца

На рис. 3б представлен усредненный суточный ход интенсивности импульсного потока от местного солнечного времени на каждом из пунктов регистрации, а на рис. 3в представлены типичные суточные хода в апреле месяца для Северного полушария, полученные ранее в результате усреднения 10-ти летнего наблюдения на частоте 14.5 кГц [8]. Из графиков б) и в) видно, что на частоте приема сигнала 17.5 кГц наблюдается высокая степень повторяемости суточных вариаций интенсивности ЕИЭМПЗ в трех точках измерения (стационар «Киреевск», стационар «Полюнянка» и Томский аэропорт) и типичный суточный ход для апреля месяца.

Рис. 4. Временные вариации ЕИЭМПЗ с 14 по 18 июня 2019 года а) – среднечасовая интенсивность; б) – усредненный суточный ход; в) – типичный суточный ход для июня месяца

На рис. 4 аналогичным образом представлены результаты мониторинга интенсивности сигнала ЕИЭМПЗ с 14 по 18 июня, но при этом были изменены частотные параметры аппаратуры для различных точек наблюдения. У регистраторов на стационаре «Киреевск» оставили прежнюю частоту — 17.5 кГц, на стационаре «Полынянка» установили — 5.0 кГц, а в Томском аэропорту — 25.0 кГц.

Из графиков суточных ходов рис. 4а) для трех точек измерения видно, что различия в формах не значительны, а суточные вариации, представленные на рис. 4б) совпадают с усредненными суточными ходами июня месяца для Северного полушария рис. 4в).

Рис. 5. Временные вариации ЕИЭМПЗ с 14 по 18 августа 2019 года а) – среднечасовая интенсивность; б) – усредненный суточный ход; в) – типичный суточный ход для августа месяца

На рис. 5 представлены временные вариации интенсивности ЕИЭМПЗ для двух станций с 14 по 18 августа 2019 года, при этом регистрация велась на частотах 17.5 (полигон «Киреевск») и 5.0 кГц (полигон «Полынянка»). На графиках рис. 5а) и б) отчетливо прослеживается корреляция зависимостей сигналов для частот 5.0 и 17.5 кГц и с усредненными суточными вариациями Северного полушария рис. 5в).

На рис. 6 представлены временные вариации интенсивности ЕИЭМПЗ для двух станций с 20 по 25 октября 2019 года, при этом регистрация велась на частотах 17.5 и 5.0 кГц. Из графиков а) видно, что суточные хода наблюдается для сигналов обеих частот, однако лишь суточный ход для сигналов 17.5 кГц совпадает с усредненными суточными вариациями Северного полушария для 14.5 кГц. Суточные хода сигналов 5.0 кГц частот значительно отличаются от сигналов 17.5 кГц и среднесуточная интенсивность ЕИЭМПЗ более чем в два раза меньше.

Можно предположить, что изменение низкочастотной составляющей ЕИЭМПЗ в среднесуточных вариациях интенсивности сигнала может быть связано с понижением температуры приповерхностного слоя литосферы, что в свою очередь приводит к изменению его физико-механических свойств и структуры. Для проверки высказанной гипотезы была установлена частота принимающих сигналов 25,0 кГц на регистраторе в «Полынянке».

Рис. 6. Временные вариации ЕИЭМПЗ с 20 по 25 октября 2019 года а) – среднечасовая интенсивность; б) – усредненный суточный ход; в) – типичный суточный ход для октября месяца

Рис. 7. Временные вариации ЕИЭМПЗ с 01 по 05 ноября 2019 года а) – среднечасовая интенсивность; б) – усредненный суточный ход; в) – типичный суточный ход для ноября месяца

На рис. 7 представлены временные вариации интенсивности ЕИЭМПЗ для двух станций с 01 по 05 ноября 2019 года, при этом регистрация велась на частотах 17.5 и 25.0 кГц. Из графиков а) и б) видно, что суточные хода наблюдается для сигналов обеих частот и совпадают с усредненными суточными вариациями Северного полушария для 14.5 кГц.

Такой факт свидетельствует о том, что осенью снижается интенсивность сигнала и меняется вид по отношению к усредненной среднесуточной вариации лишь для 5.0 кГц составляющей ЕИЭМПЗ.

Для сравнения с вышеизложенным, на рис. 8 представлены результаты среднесуточных вариаций ЕИЭМПЗ в январе и феврале 2020 года на частотах 17.5 и 5.0 кГц.

Из графика видно, что в январе месяце 2019 года практически отсутствует суточный ход для 5.0 кГц составляющей ЕИЭМПЗ особенно в вечернее и ночное время. Сигналы 17.5 кГц составляющей имеет характерные вечерние и ночные максимумы и дневные минимумы, что хорошо совпадает с результатами статистической обработки для частоты 14.5 кГц Северного полушария.

В феврале 2020 года 17.5 кГц составляющая совпадает с усредненным суточным ходом Северного полушария, а 5.0 кГц – начинает проявляться в виде повышения интенсивности сигнала в 10-00 и 22-00 часов по местному солнечному времени.

Рис. 8. Среднесуточные вариации в январе и феврале 2020 г. а) – результаты измерений на стационарах «Киреевск» и «Полынянка»; б) - усредненные среднесуточные вариации ЕИЭМПЗ для 14,5 кГц

Совершенно иную картину в суточных вариациях наблюдается в май и июле 2020 года. На рис. 9 представлены результаты регистрации интенсивности сигналов по обоим составляющим (5.0 и 17.5 кГц), которые однозначно совпадают по величине и форме суточных вариаций. Отчетливо наблюдается послеполуденные максимумы и утренние минимумы интенсивности сигналов (14-00 – 18-00 и 05-00 – 9-00 соответственно, по местному солнечному времени), а форма суточных ходов совпадают с усредненным суточным ходом Северного полушария.

Рис. 9. Среднесуточные вариации в мае и июле 2020 г. а) – результаты измерений на стационарах «Киреевск» и «Полынянка»; б) - усредненные среднесуточные вариации ЕИЭМПЗ для средних широт

Таким образом, можно с уверенностью заявить, что сигналы различных составляющих ЕИЭМПЗ имеют разные сезонные изменения и проявляются в суточных вариациях.

Выводы

Впервые поставленный одновременный мониторинг параметров ЕИЭМПЗ на разных частотах регистрации позволил обнаружить неравномерность сезонных изменений частотных характеристик электромагнитного поля Земли. Возможной причиной изменения низкочастотной составляющей ЕИЭМПЗ в среднесуточных вариациях интенсивности сигнала может быть изменение физико-механических свойств и структуры приповерхностного слоя литосферы в зимний сезон. Дальнейшие исследования позволят оценить статистическую значимость обнаруженного эффекта, разработать новые критерии применения метода ЕИЭМПЗ для геофизической разведки и оценки состояния горных пород.

Авторы статьи выражают благодарность Шталину С. Г. за разработку и создание оригинального аппаратно – программного многоканального геофизического регистратора «МГР-02-16», Капустину С. А. и Кабанову М. М. за обсуждение результатов исследований и разработку Интернет портала автоматизированной системы контроля горных пород (АСК-ГП).

Конкурирующие интересы. Авторы заявляют, что конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Все авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

Список литература/References

- [1] Гордеев В. Ф., Малышков С. Ю., Поливач В. И., “Геофизический мониторинг опасных техногенных проявлений на подрабатываемых территориях”, *Вестник СГГУиТ*, **124**:2 (2019), 35–44. [Gordeyev V. F., Malyshev S. YU., Polivach V. I., “Geofizicheskiy monitoring opasnykh tekhnogennykh proyavleniy na podrabatyvayemykh territoriyakh”, *Vestnik SGGUiT*, **124**:2 (2019), 35–44 (in Russian)].
- [2] Малышков Ю. П., Малышков С. Ю., “Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли”, *Геология и геофизика*, **50**:2 (2009), 152–172. [Malyshev YU. P., Malyshev S. YU., “Periodicheskiye variatsii geofizicheskikh poley i seysmichnosti, ikh vozmozhnaya svyaz’ s dvizheniyem yadra Zemli”, *Geologiya i geofizika*, **50**:2 (2009), 152–172 (in Russian)].
- [3] Малышков Ю. П., Джумабаев К. Б., Малышков С. Ю. и др., *Способ прогноза землетрясений*, Патент РФ № 2238575, 2004. [Malyshev YU. P., Dzhumabayev K. B., Malyshev S. Yu. i dr., *Sposob prognoza zemletryaseniya*, Patent RF № 2238575, 2004 (in Russian)].
- [4] Малышков Ю. П., Малышков С. Ю., Шталин С. Г. и др., *Способ определения пространственного положения и параметров внутреннего ядра Земли*, Патент РФ № 2352961, 2009. [Malyshev YU. P., Malyshev S. Yu., Shtalin S. G. i dr., *Sposob opredeleniya prostranstvennogo polozheniya i parametrov vnutrennego yadra Zemli*, Patent RF № 2352961, 2009 (in Russian)].
- [5] Малышков Ю. П., Малышков С. Ю., Шталин С. Г. и др., *Способ геофизической разведки*, Патент РФ № 2414726, 2011. [Malyshev YU. P., Malyshev S. Yu., Shtalin S. G. i dr., *Sposob geofizicheskoy razvedki*, Patent RF № 2414726, 2011 (in Russian)].
- [6] Gordeev V. F., Malyshev S. Yu., Polivach V. I., et al, “Earth’s Natural Pulsed Electro-Magnetic Field Temporal Variations’ Anomalies as an Earthquake Precursors”, *Springer Proceedings in Earth Environmental Sciences*, 2019, 53–60.
- [7] Malyshev S. Yu., Gordeev V. F., Polivach V. I., et al, “Stress-Strain State Monitoring of a Man-Induced Landslide Based on the Lithospheric Component Parameters of the Earth’s Pulsed Electromagnetic Field”, *Springer Proceedings in Earth Environmental Sciences*, 2019, 367–377.
- [8] Malyshev S. Yu., Gordeev V. F., Polivach V. I., et al, “Earth’s Natural Electromagnetic Noises: Their Deep-Seated Origin, Effect on People, Recording and Application in Geophysics”, *Horizons in World Physics*, **283**:3 (2015), 43–127.

Seasonal variations of frequency parameters of Earth's natural pulsed electromagnetic field

V. F. Gordeev, V. A. Krutikov, S. Yu. Malyshkov, V. I. Polivach

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Akademicheskoy av., 10/3, Tomsk, Russia

E-mail: gordeev@imces.ru

As a result of the experiment, we have recorded for the first time the seasonal change in frequency parameters of Earth's natural pulsed electromagnetic field (ENPEMF). This effect once studied thoroughly should allow to further advance a physical model of ENPEMF lithosphere component formation and would help to formulate additional stress-strained state of the rock estimation criteria for geodynamic survey methods.

Key words: monitoring, natural pulsed electromagnetic field of the Earth, EIEMPZ, lithos.

DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-199-208

Original article submitted: 12.10.2020

Revision submitted: 08.11.2020

For citation. Gordeev V. F., Krutikov V. A., Malyshkov S. Yu., Polivach V. I. Seasonal variations of frequency parameters of Earth's natural pulsed electromagnetic field. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2020, **33**: 4, 199-208. DOI: 10.26117/2079-6641-2020-33-4-199-208

Competing interests. The authors declare that there are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ru>)

© Gordeev V. F., et al., 2020

Funding. The studies of V. F. Gordeev and S. Yu. Malyshkov were carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (Grant No. 18-47-700005 r _a). The studies of V. A. Krutikov and V. I. Polivach were carried out within the framework of the state assignment of the IMCES SB RAS.