

УДК: 550.346

DOI: 10.26907/rwp29.2025.352-355

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ СУТОЧНЫХ И СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В СДВ ДИАПАЗОНЕ

И.Б. Нагуслаева, Ю.Б. Башкуев

*Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 7  
e-mails: idam.naguslayeva@mail.ru; buddich@mail.ru*

**Аннотация.** Представлены результаты мониторинга естественного и техногенного СДВ электромагнитного поля в окрестности города Улан-Удэ и в условиях города за 2008–2024 гг. За длительный период наблюдений установлено, что интенсивность естественного электромагнитного поля в СДВ диапазоне в окрестности города Улан-Удэ имеет устойчивые сезонные суточные хода. Подтвержден "воскресный" эффект, заключающийся в том, что в выходные дни уровень техногенного электромагнитного поля уменьшается на 3–4 порядка относительно рабочих дней.

**Ключевые слова:** естественное и техногенное электромагнитное поле, СДВ-диапазон, суточные и сезонные вариации.

## PATTERNS OF SEASONAL DAILY VARIATIONS OF THE EARTH'S NATURAL ELECTROMAGNETIC FIELD IN THE VLF RANGE

I.B. Naguslaeva, Yu.B. Basykuev

**Abstract.** Some results of monitoring of natural and man-made electromagnetic field in the vicinity of Ulan-Ude and in the city conditions for 2008–2024 are presented. Over a long period of observations, it is generalized that the intensity of the natural electromagnetic field in the ULW range in the vicinity of Ulan-Ude has a stable seasonal diurnal variation. The "Sunday" effect is confirmed, which consists in the fact that on weekends the level of the man-made electromagnetic field decreases by 3–4 orders of magnitude relative to working days.

**Keywords:** natural and man-made electromagnetic field, ULW range, daily and seasonal variations.

Электромагнитное поле представляет собой важнейший фактор окружающей среды, тесно взаимосвязанный с другими составляющими природного комплекса планеты и воздействующим на жизнедеятельность человека. Знания о природе и источниках возникновения 550.346 электромагнитного поля весьма актуальны с точки зрения экологии [1]. Измерения естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) в СДВ диапазоне проводятся нами с помощью многоканальных геофизических регистраторов МГР-01, разработанных и изготовленных в ИМКЭС СО РАН (г. Томск). МГР-01 включает в себя датчики магнитной  $H$  на резонансной частоте 14,5 кГц и электрической  $E$  компонент ЕИЭМПЗ, источник питания и блок сбора и предварительной обработки аналоговых сигналов, который подключен к управляющему компьютеру [2].

Регистратор МГР-01 установлен на стационаре «Верхняя Березовка» (51.87° N, 107.65° E) в пригороде Улан-Удэ, где эксплуатируется в непрерывном круглогодичном режиме с 31 марта 2008 года [3, 4]. Результаты анализа многолетних наблюдений показали, что интенсивность суточных вариаций импульсного потока в СДВ диапазоне имеет устойчивые суточные хода, характерные для разных сезонов года. В таблицах 1 и 2 приведены коэффициенты взаимной межгодовой корреляции магнитной компоненты ЕИЭМПЗ за февраль 2009 – 2024 гг. и июль 2008–2023 гг. по направлениям приема «север-юг» (с-ю) и «запад-восток» (з-в). Из таблицы 1 видно, что в зимнее время в феврале 2009–2024 гг. коэффициент взаимной межгодовой корреляции усредненной магнитной компоненты по направлению приема «север-юг» заметно нестабильный и составляет от 0,02 до 0,86, а по направлению «запад-восток» от 0,74 до 0,98, причем почти в 80 % случаев коэффициент превышает 0,9. В летнее же время в июле 2008–2023 гг. достаточно высокие уровни взаимной межгодовой корреляции усредненной магнитной компоненты по двум взаимно-ортогональным направлениям датчика: по направлению «север-юг» от 0,39 (единичный случай) до 1, по направлению «запад-восток» от 0,57 (также единичный случай) до 1 (нет такого существенного разброса как в феврале). Из многолетних наблюдений за интенсивностью магнитной компоненты ЕИЭМПЗ на частоте 14,5 кГц

Таблица 1. Коэффициенты взаимной корреляции магнитной компоненты за февраль 2009–2024 гг.

| Направл. приема<br>с-ю / з-в | 2009 г.    | 2010 г.   | 2011 г.    | 2012 г.   | 2013 г.    | 2014 г.   | 2015 г.    |
|------------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
| 2010 г.                      | 0,8/0,95   |           |            |           |            |           |            |
| 2011 г.                      | 0,32/0,95  | 0,25/0,97 |            |           |            |           |            |
| 2012 г.                      | 0,73/0,91  | 0,79/0,92 | 0,22/0,88  |           |            |           |            |
| 2013 г.                      | 0,77/0,93  | 0,67/0,88 | 0,2/0,84   | 0,88/0,95 |            |           |            |
| 2014 г.                      | 0,77/0,95  | 0,62/0,9  | 0,26/0,87  | 0,84/0,89 | 0,94/0,94  |           |            |
| 2015 г.                      | 0,9/0,95   | 0,82/0,91 | 0,28/0,87  | 0,86/0,95 | 0,9/0,99   | 0,86/0,95 |            |
| 2016 г.                      | 0,96/0,96  | 0,82/0,97 | 0,29/0,97  | 0,71/0,89 | 0,72/0,89  | 0,71/0,9  | 0,86/0,92  |
| 2017 г.                      | 0,86/0,96  | 0,81/0,95 | 0,2/0,93   | 0,61/0,94 | 0,54/0,93  | 0,49/0,91 | 0,75/0,94  |
| 2018 г.                      | 0,88/0,92  | 0,78/0,88 | 0,22/0,86  | 0,85/0,98 | 0,86/0,97  | 0,83/0,91 | 0,94/0,97  |
| 2019 г.                      | 0,64/0,95  | 0,57/0,93 | 0,14/0,9   | 0,71/0,97 | 0,66/0,98  | 0,58/0,94 | 0,7/0,99   |
| 2020 г.                      | 0,75/0,96  | 0,5/0,95  | 0,39/0,94  | 0,56/0,95 | 0,5/0,94   | 0,59/0,95 | 0,61/0,9   |
| 2021 г.                      | 0,78/0,94  | 0,69/0,95 | 0,2/0,94   | 0,5/0,95  | 0,42/0,94  | 0,45/0,92 | 0,62/0,96  |
| 2022 г.                      | -0,17/0,83 | 0,05/0,79 | -0,07/0,74 | -0,2/0,86 | -0,51/0,89 | -0,5/0,83 | -0,28/0,92 |
| 2023 г.                      | 0,92/0,97  | 0,85/0,95 | 0,24/0,91  | 0,78/0,95 | 0,78/0,96  | 0,72/0,93 | 0,88/0,96  |
| 2024 г.                      | 0,93/0,99  | 0,84/0,9  | 0,24/0,94  | 0,72/0,91 | 0,67/0,92  | 0,66/0,94 | 0,85/0,95  |

Продолжение табл. 1

| Направл. приема<br>с-ю/з-в | 2016 г.   | 2017 г.   | 2018 г.   | 2019 г.   | 2020 г.   | 2021 г.   | 2022 г.    | 2023 г.   |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 2017 г.                    | 0,87/0,94 |           |           |           |           |           |            |           |
| 2018 г.                    | 0,87/0,89 | 0,79/0,95 |           |           |           |           |            |           |
| 2019 г.                    | 0,7/0,94  | 0,58/0,96 | 0,76/0,97 |           |           |           |            |           |
| 2020 г.                    | 0,74/0,95 | 0,56/0,95 | 0,57/0,95 | 0,53/0,97 |           |           |            |           |
| 2021 г.                    | 0,83/0,96 | 0,77/0,94 | 0,68/0,94 | 0,59/0,98 | 0,62/0,98 |           |            |           |
| 2022 г.                    | -0,1/0,8  | 0,21/0,81 | -0,2/0,86 | -0,2/0,89 | -0,2/0,84 | 0,14/0,85 |            |           |
| 2023 г.                    | 0,92/0,96 | 0,88/0,97 | 0,93/0,94 | 0,75/0,98 | 0,59/0,95 | 0,77/0,95 | -0,1/0,85  |           |
| 2024 г.                    | 0,92/0,97 | 0,89/0,96 | 0,84/0,91 | 0,65/0,95 | 0,7/0,97  | 0,83/0,96 | -0,02/0,83 | 0,94/0,96 |

Таблица 2. Коэффициенты взаимной корреляции магнитной компоненты за июль 2009 – 2024 гг.

| Направл. приема<br>с-ю / з-в | 2008 г.   | 2009 г.   | 2010 г.   | 2011 г.   | 2012 г.   | 2013 г.   | 2014 г.   | 2015 г.   |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2009 г.                      | 0,94/0,9  |           |           |           |           |           |           |           |
| 2010 г.                      | 0,91/0,8  | 0,95/0,95 |           |           |           |           |           |           |
| 2011 г.                      | 0,76/0,78 | 0,83/0,94 | 0,75/0,95 |           |           |           |           |           |
| 2012 г.                      | 0,92/0,83 | 0,92/0,93 | 0,91/0,92 | 0,8/0,88  |           |           |           |           |
| 2013 г.                      | 0,91/0,93 | 0,91/0,93 | 0,91/0,94 | 0,75/0,87 | 0,97/0,98 |           |           |           |
| 2014 г.                      | 0,95/0,9  | 0,96/0,96 | 0,95/0,95 | 0,75/0,92 | 0,97/0,96 | 0,97/0,97 |           |           |
| 2015 г.                      | 0,92/0,94 | 0,85/0,87 | 0,83/0,79 | 0,67/0,76 | 0,88/0,9  | 0,92/0,89 | 0,91/0,92 |           |
| 2016 г.                      | 1/1       | 0,91/0,95 | 0,91/0,8  | 0,76/0,78 | 0,92/0,83 | 0,93/0,84 | 0,95/0,9  | 0,9/0,97  |
| 2017 г.                      | 0,91/0,95 | 0,93/0,9  | 0,69/0,83 | 0,69/0,81 | 0,84/0,89 | 0,87/0,87 | 0,92/0,94 | 0,9/0,97  |
| 2018 г.                      | 0,85/0,89 | 0,85/0,84 | 0,86/0,77 | 0,66/0,76 | 0,85/0,82 | 0,87/0,83 | 0,91/0,89 | 0,87/0,9  |
| 2019 г.                      | 0,8/0,86  | 0,66/0,81 | 0,68/0,8  | 0,55/0,72 | 0,78/0,92 | 0,84/0,92 | 0,79/0,9  | 0,91/0,94 |
| 2020 г.                      | 0,65/0,85 | 0,67/0,89 | 0,59/0,84 | 0,69/0,8  | 0,64/0,9  | 0,7/0,92  | 0,64/0,9  | 0,72/0,88 |
| 2021 г.                      | 0,64/0,85 | 0,66/0,79 | 0,62/0,71 | 0,43/0,76 | 0,68/0,8  | 0,71/0,79 | 0,73/0,87 | 0,75/0,89 |
| 2022 г.                      | 0,82/0,87 | 0,74/0,76 | 0,72/0,68 | 0,52/0,63 | 0,78/0,84 | 0,84/0,83 | 0,82/0,84 | 0,93/0,95 |
| 2023 г.                      | 0,82/0,74 | 0,86/0,92 | 0,82/0,95 | 0,88/0,94 | 0,84/0,88 | 0,81/0,88 | 0,82/0,87 | 0,66/0,71 |

Продолжение табл. 2

| Направл. приема<br>с-ю / з-в | 2016 г.   | 2017 г.   | 2018 г.   | 2019 г.   | 2020 г.   | 2021 г.   | 2022 г.   |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2017 г.                      | 0,91/0,95 |           |           |           |           |           |           |
| 2018 г.                      | 0,85/0,89 | 0,9/0,95  |           |           |           |           |           |
| 2019 г.                      | 0,81/0,86 | 0,74/0,9  | 0,8/0,8   |           |           |           |           |
| 2020 г.                      | 0,65/0,85 | 0,69/0,92 | 0,66/0,87 | 0,62/0,87 |           |           |           |
| 2021 г.                      | 0,75/0,83 | 0,78/0,93 | 0,81/0,94 | 0,72/0,79 | 0,67/0,81 |           |           |
| 2022 г.                      | 0,82/0,87 | 0,87/0,93 | 0,88/0,9  | 0,92/0,93 | 0,66/0,87 | 0,85/0,89 |           |
| 2023 г.                      | 0,82/0,74 | 0,66/0,72 | 0,61/0,64 | 0,56/0,73 | 0,57/0,78 | 0,39/0,6  | 0,48/0,57 |

и анализе суточных ходов местной грозовой деятельности и мировых грозовых центров нами подтвержден вывод о том, что на формирование естественного электромагнитного поля Земли влияют как местная, так и мировая грозовая деятельность. Так, в [5] нами показано, что в летнее время коэффициент корреляции для расчетного периода (июль 1998 г., июль 2001 г.) между суточным ходом ЕИЭМПЗ на станции наблюдения «Верхняя Березовка» и «Надеино» и местной грозовой деятельностью составил 0,8. Этим объясняется высокий уровень межгодовой корреляции магнитной компоненты по обоим направлениям приема в июле 2008–2023 гг. В зимнее же время, когда отсутствует местная грозовая деятельность, в волноводе "Земля-ионосфера" распространяются атмосферика от относительно редких грозовых разрядов, в основном, в экваториальных широтах. Этим, вероятно, объясняется стабильно высокий уровень межгодовой корреляции магнитной компоненты именно по направлению ориентации датчика «запад-восток» в феврале. Следует отметить, что в работе [6] подтвержден наш вывод о влиянии мировой и местной грозовой деятельности на формирование суточных ходов магнитной компоненты естественного электромагнитного поля, в ней говорится: «осциллографический анализ формы и длительности принимаемых импульсных сигналов показал, что около 90 % импульсов относится к атмосферикам и только около 4 % импульсов, вероятно, связаны с литосферой». Анализ результатов наблюдений по направлениям датчика «север-юг» и «запад-восток» показывает преимущественное направление прихода импульсного потока ЕИЭМПЗ по направлению датчика «запад-восток» во все сезоны года. Этот результат подтверждает выводы работы [7].

Интересно показать результаты мониторинга с помощью регистратора МГР-01 техногенного электромагнитного фона в условиях города Улан-Удэ с населением около пятисот тысяч человек и естественного электромагнитного фона в пригороде «Верхняя Березовка». Второй регистратор МГР-01, аналогичный регистратору МГР-01 на «Верхней Березовке», был установлен на третьем этаже западной стороны здания Института физического материаловедения СО РАН. Следует отметить, что при проведении одновременных измерений работа всех каналов регистраторов была синхронизирована, параметры и режимы регистрации установлены идентично. При анализе результатов измерений в мае 2024 г. выявлено, что на стационаре «Верхняя Березовка» наблюдается постепенное увеличение интенсивности магнитной компоненты от начала к концу месяца – от ~ 200 имп/час до ~ 4000 имп/час по обоим направлениям приема, что вызвано

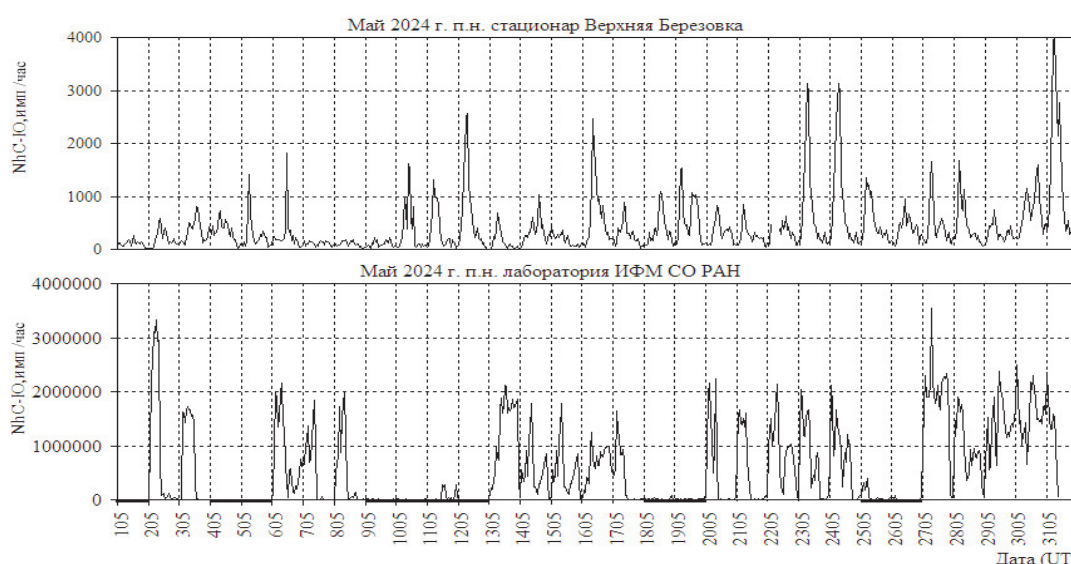


Рис. 1. а) суточный ход магнитной компоненты ЕИЭМПЗ на частоте 14,5 кГц (п.н. «Верхняя Березовка»); б) суточный ход аддитивной смеси естественного и техногенного электромагнитного излучения на частоте 14,5 кГц (лаборатория ИФМ СО РАН). Утолщенной линией подчеркнуты выходные дни



приближением сезона местной грозовой активности (рис. 1а), а в условиях города максимальная суточная интенсивность магнитной компоненты в течение месяца в основном «держится» на одном уровне  $\sim 2000000$  имп/час (рис. 1б). В условиях города отмечен «воскресный» эффект, заключающийся в том, что в выходные дни (суббота, воскресенье и праздничные дни) уровень СДВ поля уменьшается на 5-6 порядков относительно рабочих дней. Этот известный в электромагнитной экологии эффект свидетельствует об активной производственной деятельности в г. Улан-Удэ. Соотношение естественного (в среднем  $\sim 1200$  имп/час) и аддитивной смеси естественного и техногенного электромагнитного излучения (до  $\sim 2000000$  имп/час в рабочие дни) наглядно свидетельствует о сильном техногенном электромагнитном загрязнении г. Улан-Удэ.

### Выводы

Из многолетних непрерывных наблюдений (с 31 марта 2008 г. по июнь 2024 г.) подтверждено, что интенсивность магнитной компоненты ЕИЭМПЗ в СДВ диапазоне в пригороде Улан-Удэ (п.н. «Верхняя Березовка») имеет устойчивые суточный и сезонный ходы. При анализе коэффициентов взаимной корреляции усредненных суточных ходов магнитной компоненты ЕИЭМПЗ по двум взаимно-ортогональным направлениям приема в зимнее и летнее время нами подтвержден вывод о том, что на формирование естественного электромагнитного поля Земли влияют как местная, так и мировая грозовая деятельность. В вариациях интенсивности магнитной компоненты ЕИЭМПЗ аддитивной смеси техногенного и естественного электромагнитного поля в условиях города Улан-Удэ подтвержден суточный ход, отражающий производственную деятельность города. Отмечен «воскресный» эффект, заключающийся в том, что в субботу, воскресенье и праздничные дни уровень техногенного СДВ электромагнитного поля уменьшается на 3–4 порядка относительно рабочих дней. Соотношение техногенного (2 млн имп/час и выше) и естественного электромагнитного поля (в среднем примерно до 1000 имп/час) на месячном интервале наблюдений наглядно свидетельствует о продолжающемся сильном техногенном электромагнитном загрязнении города Улан-Удэ.

### Список литературы

1. Аполлонский С.М., Малаян К.Р. Электромагнитная экология человека. – С-Пб.: Изд-во Политехнического университета, 2008. – 556 с.
2. Малышков Ю.П., Нагулаева И.Б., Башкуев Ю.Б. Многоканальный геофизический регистратор МГР-01 и некоторые результаты его применения в Байкальском регионе. // Вестник Международной Академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – Т.13. – № 3 (приложение). – 2008. – С. 197–200.
3. Нагулаева И.Б., Башкуев Ю.Б. Электромагнитная диагностика неоднородных сред сейсмоактивной области. Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co. 2012. – 132 с.
4. Нагулаева И.Б., Башкуев Ю.Б., Дембелов М.Г. Сезонные и пространственные изменения суточных вариаций ОНЧ импульсного потока естественного электромагнитного поля, регистрируемые на средних широтах // Геомагнетизм и аэрономия. – 2016. – Т. 56. – № 3. – С. 380–385.
5. Сейсмоионосферные и сейсмoeлектромагнитные процессы в Байкальской рифтовой зоне / Афраимович Э.Л. [и др.]; отв. ред. Г.А. Жеребцов; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т солнечно-земной физики, Ин-т земной коры, Ин-т физического материаловедения. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – (Интеграционные проекты СО РАН.) – Вып. 35. – 2012. – 304 с.
6. Липеровский В.А., Похотелов О.А., Шалимов С.Л. Ионосферные предвестники землетрясений. – М.: Наука, 1992. – 304 с.
7. Козлов В.И., Муллаяров В.А. Грозовая активность в Якутии. – Якутск, ЯФ изд-ва СО РАН, 2004. – 104 с.