

УДК 550.344

СУТОЧНО-СЕЗОННАЯ ВАРИАЦИЯ ЧИСЛА ДИСТАНЦИОННО НАБЛЮДАЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫХ УНЧ-ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН ИХ ГЕНЕРАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

© 2022 г. Б. В. Довбня*

Геофизическая обсерватория Борок филиал института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, п. Борок (Ярославская обл.), Россия

**e-mail: dovbnua@inbox.ru*

Поступила в редакцию 15.07.2021 г.

После доработки 09.12.2021 г.

Принята к публикации 27.01.2022 г.

По данным многолетних наблюдений на двух разнесенных по широте и долготе геофизических обсерваториях Борок и Колледж анализируются результаты дистанционного наблюдения импульсных электромагнитных УНЧ-сигналов, обнаруживаемых от удаленных землетрясений *за минуты* до сейсмического события. Исследуются суточные и сезонные зависимости частоты появления предвестников в обсерваториях и характер пространственного распределения зон их генерации на земной поверхности. В суточном распределении частоты появления выделяются два максимума – в вечерние и утренние часы местного времени. В сезонном ходе наблюдается максимум в весенний период и возрастание в зимние месяцы. В пространственном распределении отмечается неравномерность расположения источников по земному шару: они группируются в отдельные зоны и ячейки, отражая на карте отдельные регионы с проявлением сейсмоэлектромагнитной активности. Даются примеры, иллюстрирующие появление предвестников. Отмечается, что динамические спектры сигналов от землетрясений, происходящих в различных регионах земной поверхности, были подобны, повторялись при разных магнитудах и глубинах очага и наблюдались в одном, выделенном относительно момента землетрясения, интервале времени. Результаты анализа позволили высказать предположение об универсальности предваряющих землетрясение процессов генерации импульсных предвестников, а также о принципиальной возможности краткосрочного предупреждения (за несколько минут) о приближающемся землетрясении.

DOI: 10.31857/S0016794022030075

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа является продолжением проводимых в геофизической обсерватории Борок исследований импульсных УНЧ-электромагнитных сигналов, предваряющих и сопровождающих землетрясения [Довбня и др., 2006; Довбня и др., 2008; Довбня, 2011; Довбня, 2014; Dovbnua et al., 2019].

Решение задач, связанных с поиском и распознаванием предвестников землетрясений, продолжает оставаться одним из основных направлений геофизики. Накопленный к настоящему времени экспериментальный материал указывает на перспективность исследований таких явлений в ультранизкочастотном (УНЧ) диапазоне (0.001–10.000 Гц) [Ismaguilov et al., 2001]. К первым наблюдениям относятся работы [Копытенко et al., 1993; Molchanov, 1990; Molchanov et al., 1992], в которых сообщается о колебаниях геомагнитного

поля перед разрушительным землетрясением в Спитаке. Также следует отметить работы [Fraser-Smith et al., 1990; Bernardi et al., 1991], в которых обнаружен и проанализирован мощный всплеск ультранизкочастотных электромагнитных колебаний перед землетрясением в Лома-Приета. Интерес к изучению предвестников возрос после землетрясения в Кобе в 1995 году. В последующих вслед за землетрясением работах [Hayakawa, 2009, 2013; Hayakawa, Molchanov, 2002; Hayakawa, 2019] электромагнитные явления были рассмотрены в возможной связи с землетрясениями. По результатам авторы делают вывод, что большинство наблюдаемых предвестников являются электромагнитными. И, все же, ситуация с предвестниками к настоящему времени остается неоднозначной. Разные проявления электромагнитных эффектов в разрозненных наблюдениях, регистрируемые за разные времена до землетрясения и отсутствие повторяемости результатов вызыва-

ют сомнения в достоверности связи обнаруживаемых явлений с землетрясениями, [Thomas et al., 2009a; Thomas et al., 2009b; Masci, Thomas, 2015]. Некоторые же из сообщений вызывают сомнения и оспариваются, [Костерин и др., 2015].

На этом фоне привлекает внимание вопрос (с которым и связана представляемая работа) о возможности появления перед землетрясениями импульсных УНЧ-электромагнитных сигналов, способных распространяться на значительные расстояния вдоль земной поверхности. Впервые на возможность существования импульсного предвестника указал автор работы [Moore, 1964] еще в 1964 г. За 1 ч 06 мин до Большого ЗТ на Аляске (США) 27 марта 1964 г. с магнитудой $M \approx 9.2$ он обнаружил кратковременное аперiodическое увеличение на 100 нТл уровня геомагнитного поля. Возникновение импульсного УНЧ-электромагнитного сигнала автор объяснял пьезомагнитным эффектом пород, подвергнутых сжатию. Об аналогичных эффектах в импульсном электромагнитном поле Земли перед сейсмическими событиями сообщается в работах [Varotsos et al., 1986; Малышков и др., 1987; Малышков и др., 2009].

В геофизической обс. Борок, расположенной в асейсмической зоне, была предпринята попытка по данным непрерывных записей УНЧ-вариаций электромагнитного поля Земли исследовать связь электромагнитных и сейсмотектонических процессов. В результате удалось обнаружить специфические УНЧ-электромагнитные импульсы в полосе частот 0–5 Гц, наблюдаемые в выделенной и близкой временной окрестности землетрясений (0–5 мин относительно момента землетрясения), которые по виду динамического спектра отличались от известных типов геомагнитных пульсаций [Довбня и др., 2006].

В настоящей работе продолжено исследование УНЧ-электромагнитных импульсов, предвещающих сейсмические события. По данным дистанционного наблюдения анализируется суточно-сезонный ход вероятности появления сигналов и рассмотрено пространственное распределение зон их генерации на земной поверхности. Даются примеры, иллюстрирующие появление предвестников в различных регионах земной поверхности. Результаты обсуждаются.

2. ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Анализ ультранизкочастотных излучений выполнялся по данным магнитных измерений на 2-х среднеширотных обсерваториях – Геофизической обс. Борок Института физики Земли РАН (58.1° N, 38.2°) за период с 1973 по 1995 гг. и на высокоширотной Геофизической обс. Колледж

(64.9°, 148.0° E), расположенной в штате Аляска, США, за период с 1973–1977 гг. Исходным материалом для анализа являлись записи УНЧ-вариаций электромагнитного поля Земли. На обсерваториях Борок и Колледж для измерений использовался индукционный магнитометр с регистрацией на аналоговый магнитофон. На всех обсерваториях регистрировалось по две горизонтальные компоненты магнитных вариаций, север-юг и восток-запад. Амплитудно-частотная характеристика приборов позволяла анализировать колебания в диапазоне (0.001–10.000 Гц). Аналоговые записи, полученные в обсерваториях Борок и Колледж, оцифровывались, а затем подвергались спектрально-временному анализу с применением компьютерных программ. Строились динамические спектры колебаний (спектрограммы), на которых в координатах частота-время отражалась информация о переменном электромагнитном поле в анализируемом интервале. При первоначальном визуальном просмотре из дальнейшего анализа исключались известные формы сигналов магнитосферного происхождения. Импульсные сигналы, которые по виду динамического спектра отличались от известных типов геомагнитных пульсаций, включались в анализ и сопоставлялись, со статистической значимостью $P = 0.86$ привязки, с ближайшим по каталогу (International Seismological Centre, ISC Catalogues, (www.isc.ac.uk)) землетрясением с конкретными географическими координатами эпицентра. Методика анализа подробно изложена в [Довбня и др., 2006] и дополнительно в [Dovbnya et al., 2019]. Ниже мы вначале дадим примеры, иллюстрирующие появление предвестников в различных регионах земной поверхности. Затем исследуем суточно-сезонный ход импульсных сигналов, наблюдаемых от удаленных землетрясений, и рассмотрим пространственное распределение их источников, т.е., землетрясений, при которых сигналы наблюдались, на земной поверхности.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

При дистанционном наблюдении регистрировались сигналы от землетрясений, происходящих в разных регионах земной поверхности. Они могли наблюдаться как от сильных, так и от слабых землетрясений, при этом для слабых землетрясений пороговые значения магнитуды M не были отмечены. Всего было проанализировано около 300 часов магнитной записи. В течение этого периода в разных регионах земной поверхности произошло свыше 5000 землетрясений с магнитудой M от 3 и выше. Примерно для 300 сейсмических событий (землетрясений) были зарегистрированы сигналы, наблюдаемые в первые десятки секунд или минуты до сейсмического события. Сигналы от удаленных землетрясений наблюда-

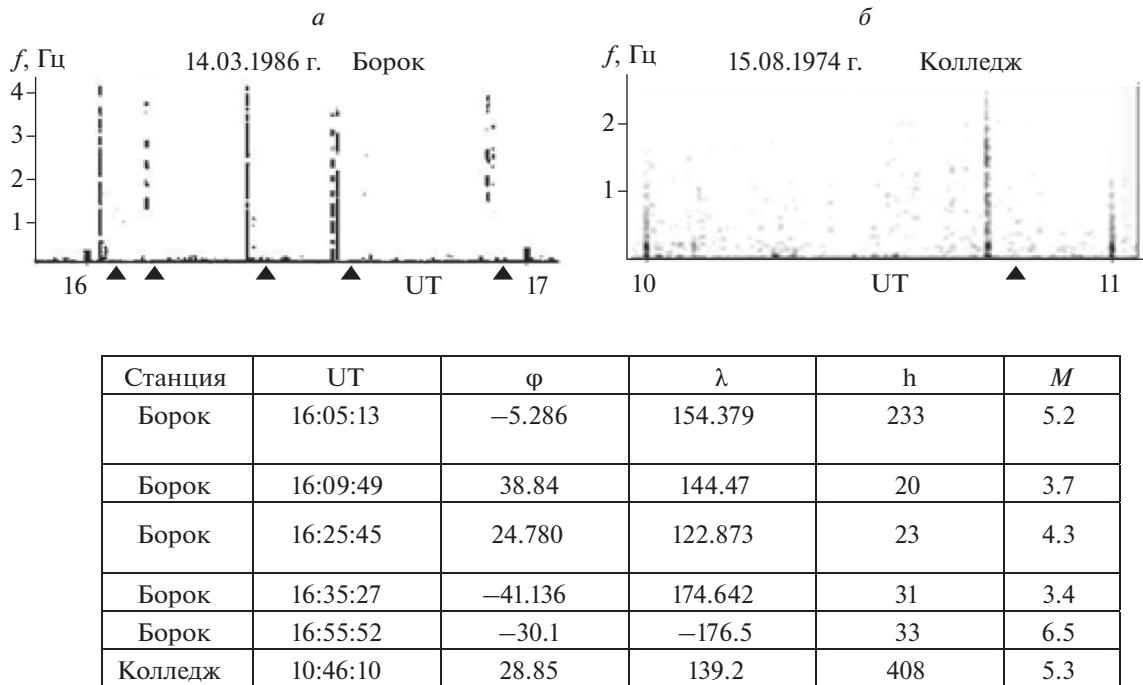


Рис. 1. Примеры импульсных предвестников землетрясений по наблюдениям в обсерваториях Борок (а) и Колледж (б).

лись в виде либо единичных, либо парных электромагнитных импульсов в диапазоне частот от 0 до 5 Гц. Реже наблюдались серии из трех и более импульсов. Как правило, их динамические спектры имели дискретную структуру. Амплитуда сигналов не превышала 20 пГл, длительность варьирует в интервале 20–50 с. В геофизической обс. Борок, расположенной в асейсмической зоне, предвестники регистрировались на расстоянии до 10000 км и более от эпицентра землетрясения. При известных координатах в каждом отдельном случае можно было определить расстояние от эпицентра до станции наблюдения.

На рисунке 1 даны типичные примеры динамических спектров импульсных предвестников, наблюдаемых в обсерваториях Борок и Колледж. Здесь и далее темными треугольниками на рисунках отмечены моменты землетрясений. В подписях для рисунков приводятся следующие параметры землетрясений: мировое время, географические координаты, глубина h в км, магнитуда M :

На рисунке 1а рассмотрены случаи появления электромагнитных импульсов перед землетрясениями по данным обс. Борок. Как видно из рисунка, динамические спектры сигналов, наблюдаемых со статистической значимостью $P = 0.86$ от землетрясений, происходящих в различных регионах земной поверхности, были подобны, повторялись при разных магнитудах и глубинах очага и наблюдались в выделенном, относительно момента землетрясения, интервале времени. На

рисунке 1б дан пример регистрации импульса-предвестника землетрясения в Японии с $M = 5.3$ по наблюдениям в обсерватории Колледж.

При сильных землетрясениях в обс. Борок иногда можно было наблюдать приход сейсмической волны. Один из таких примеров рассмотрен на рис. 2.

Разрушительное землетрясение с магнитудой $M = 7.7$ произошло в Румынии 4 марта 1977 г. в 19:21 UT. Подземные толчки, вызванные приходом сейсмической волны из очага главного удара, ощущались даже в Москве. Сейсмическая волна (светлая стрелка) зарегистрирована в Борке, отстоящем на расстояние около 2000 км от эпицентра, спустя 6 мин после момента главного удара. За 4 мин до момента землетрясения в обсерватории Борок были зарегистрированы два электромагнитных импульса, которые на 10 мин опередили приход сейсмической волны.

Интересно отметить обнаруженное при анализе свойство проявления сейсмоэлектромагнитной активности – повторяемость импульсных предвестников в землетрясениях, происходящих вслед за главным ударом в том же регионе. Афтершоки представляют серьезную опасность для региона, пострадавшего в результате первого из землетрясений. Повторяемость предвестников может дать практическую возможность оперативного предупреждения (за несколько минут) об очередном землетрясении. На рисунке 3 показан фрагмент магнитной записи в Борке серии земле-

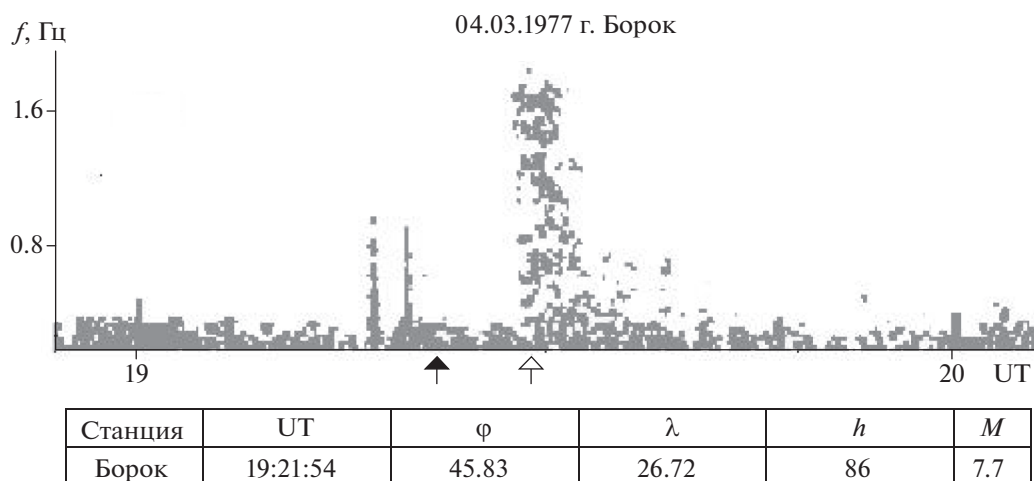


Рис. 2. Пример наблюдения сейсмической волны от землетрясения в Румынии 4 марта 1977 г. Сейсмическая волна (светлая стрелка) зарегистрирована в Борке спустя 6 мин после момента главного удара.

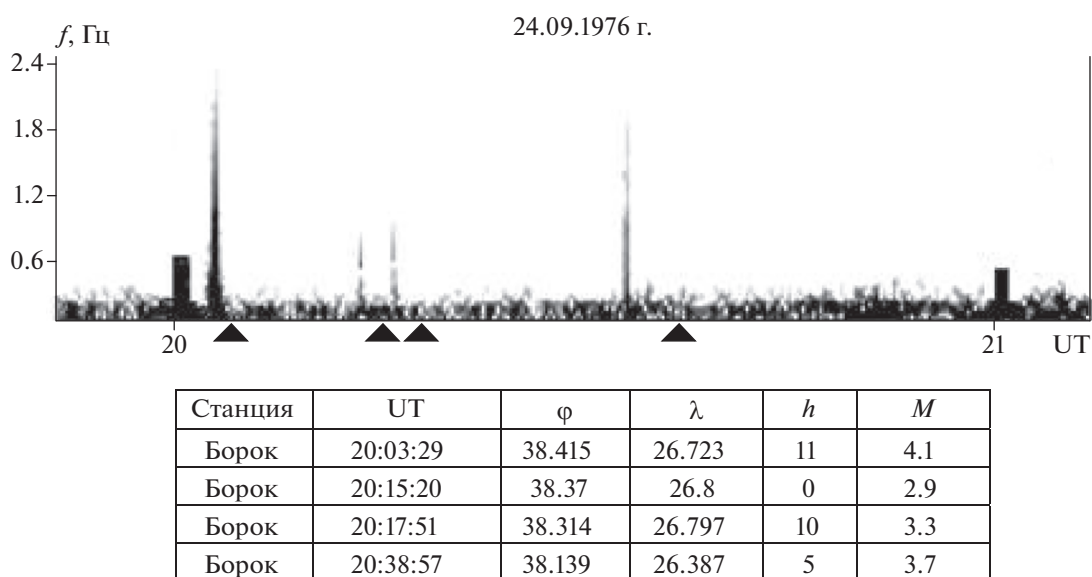


Рис. 3. Повторяемость предвестников в землетрясениях, происходящих вслед за главным ударом в том же регионе.

трясений в Турции, эпицентры которых располагались достаточно близко друг к другу (подробно повторяемость рассматривается в работе [Довбня, 2014]):

Обратим внимание на зависимость интенсивности сигнала от M .

На рисунке 4 даны примеры одновременного наблюдения предвестников в Борке и Колледже (отмечены стрелками). Видно, что, несмотря на то, что обсерватории почти на 12 ч разнесены по долготе и на 10° по широте, предвестники на обеих станциях появляются практически одновременно и имеют подобную спектральную форму.

3.1. Суточные и сезонные зависимости

При дистанционном наблюдении сигналы регистрируются на значительных удалениях от эпицентра землетрясения (до 10000 км и более). Естественно ожидать, что вероятность их наблюдения на обсерватории будет зависеть от условий на трассе распространения, которые, в свою очередь, подвержены суточным и сезонным изменениям. Суточная и сезонная зависимости частоты появления предвестников в obs. Борок иллюстрируется на рис. 5.

В суточном распределении (рис. 5a) выделяются два максимума — основной, который приходится на местные утренние часы ($LT = UT + 3$)

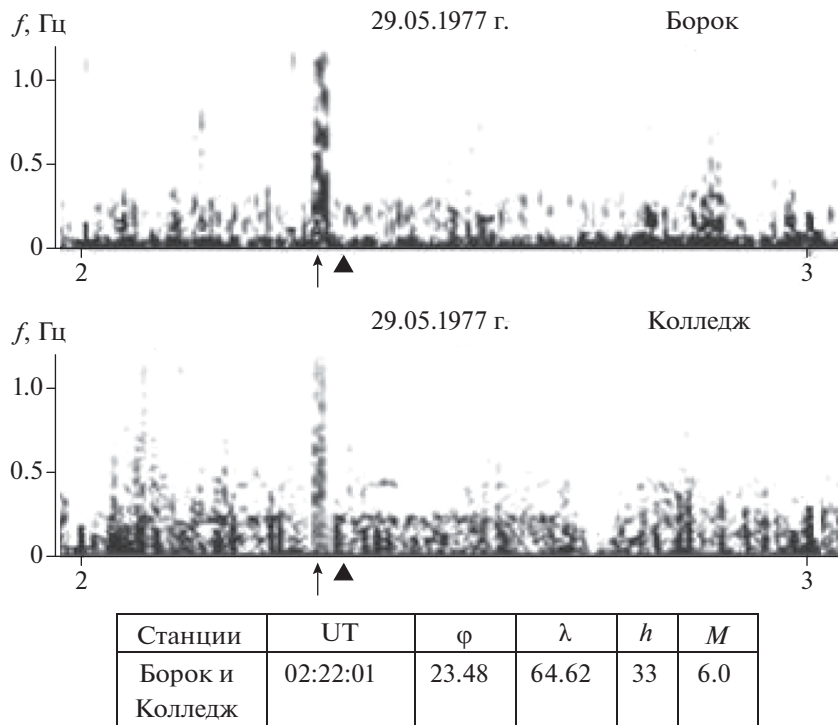


Рис. 4. Одновременное наблюдение предвестников в обсерваториях Борок и Колледж.

и дополнительный, который падает на местные вечерние часы. В сезонном ходе (рис. 5б) отмечается максимум в весенний период, основное же возрастание числа событий приходится на зимние месяцы.

На рисунке 6 те же зависимости приведены для obs. Колледж. В суточном распределении также присутствуют два максимума, но, в отличие от Борка, основной приходится на послеполуденные часы ($LT = UT - 9$), дополнительный – на вечерние. В сезонном ходе вероятности наблюдения сигналов выделяются два максимума, основной – в весенний период и дополнительный – в зимние месяцы.

3.2. Пространственное распределение зон генерации

При дистанционном наблюдении регистрируются сигналы, приходящие из разных мест земной поверхности. Такая особенность давала возможность провести анализ географического расположения зон их генерации. На рисунке 7 приведены распределения по данным обсерваторий Борок (рис. 7а, 228 событий) и Колледж (рис. 7б, 78 событий). Анализ показывает широкое пространственное, и, при этом, неравномерное, распределение источников излучения. Они группируются в отдельные зоны и ячейки, выделяя на карте регионы с проявлением сейсмоэлектромагнитной активности. Наблюдения на двух разнесенных

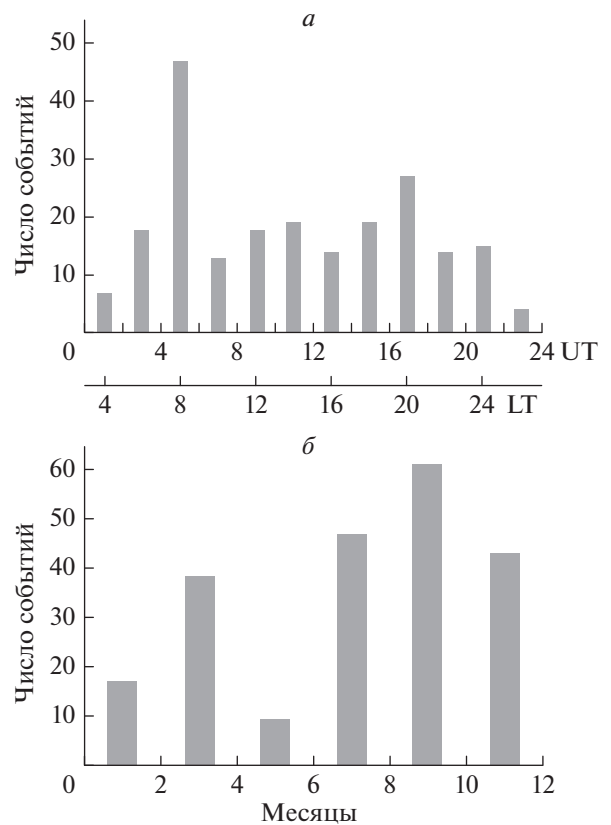


Рис. 5. Суточное (а) и сезонное (б) распределение числа импульсов в obs. Борок.

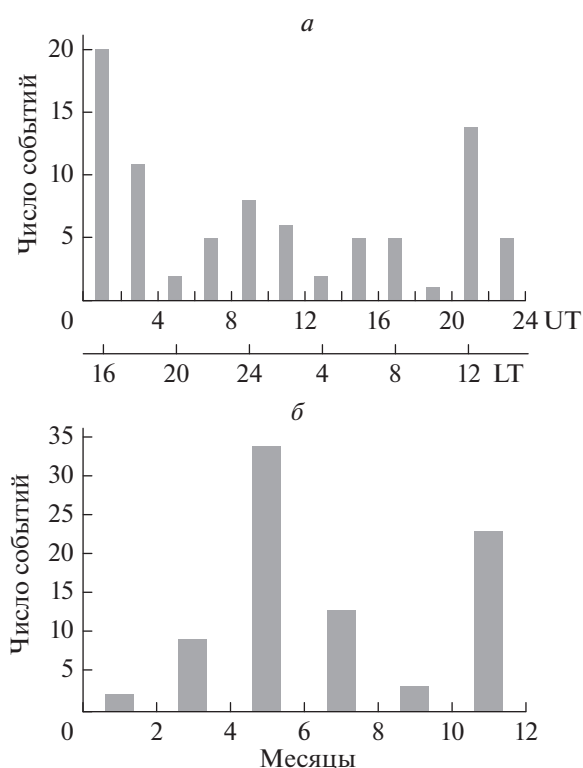


Рис. 6. Суточное (а) и сезонное (б) распределение числа импульсов в обс. Колледж.

по широте и долготе обсерваториях указывают, при разной статистике, на одни и те же зоны УНЧ-электромагнитного излучения.

В распределении источников сигналов по земному шару наблюдается явное различие по полушариям. Основная их часть приходится на северное полушарие, где также заметна асимметрия в широтном и долготном направлении. На рисунках 8, 9 показаны распределения зон генерации УНЧ-элек-

тромагнитных импульсов по широтным (а) и долготным (б) поясам Земли для северного полушария по наблюдениям в обсерваториях Борок и Колледж. Широтные пояса брались шириной 15° , долготные — 30° . В распределении по широте по данным обеих обсерваторий выделяется четкий максимум в интервале 30° – 45° , в долготном направлении заметно проявляются два максимума в западном секторе: основной — в интервале 120° – 150° и дополнительный — в интервале 0° – 30° .

4. ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, по данным многолетних наблюдений на двух разнесенных по широте и долготе обсерваторий исследована суточная и сезонная зависимость дистанционно наблюдаемых импульсных УНЧ-электромагнитных предвестников и рассмотрен характер пространственного распределения зон их генерации на земной поверхности.

Попытаемся дать качественное объяснение полученным результатам.

1. Суточная и сезонная зависимость в появлении числа импульсов отражает влияние местных условий и условий на трассе распространения сигналов. Разные условия на пути их следования могут привести к разной вероятности появления импульсов при одинаковой в среднем сейсмической активности. Каналом для распространения сигналов вдоль земной поверхности может служить ионосферный волновод [Гульельми и Троицкая, 1973; Костерин и др., 2015]. Канализируемые в таком волноводе геомагнитные пульсации способны распространяться вдоль земной поверхности с альвеновской скоростью 500 – 1000 км/с на значительные расстояния.

Дискретность динамического спектра импульсов, характерная для ионосферного распространения геомагнитных пульсаций [Довбня и др., 2014], не исключает такую возможность.

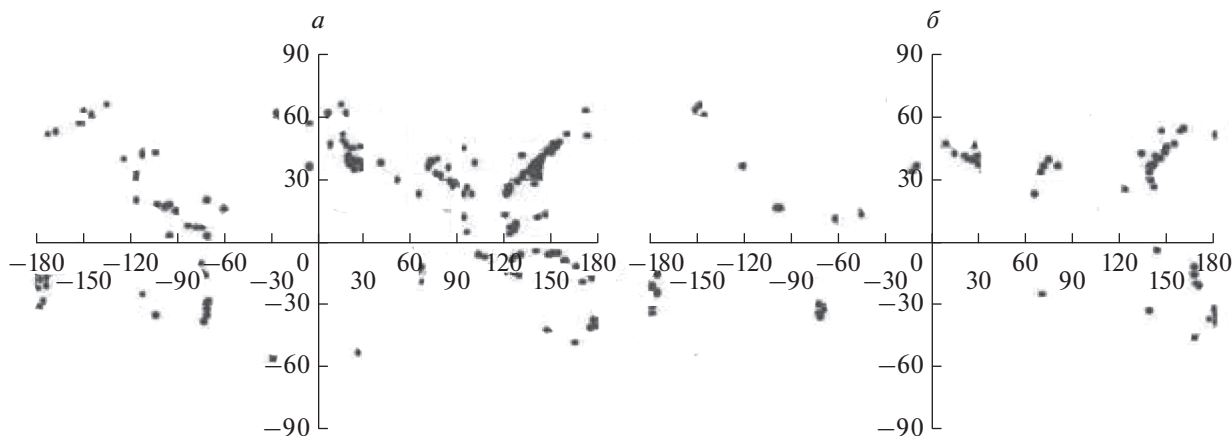


Рис. 7. Распределение источников УНЧ-электромагнитных сигналов на земной поверхности.

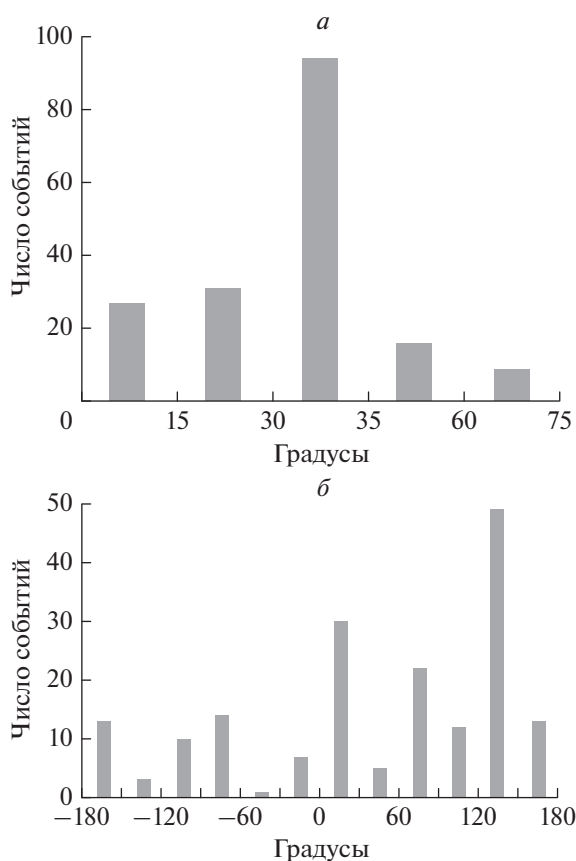


Рис. 8. Распределение источников УНЧ-электромагнитных сигналов по широте (а) и долготе (б) для северного полушария по наблюдениям в Борке.

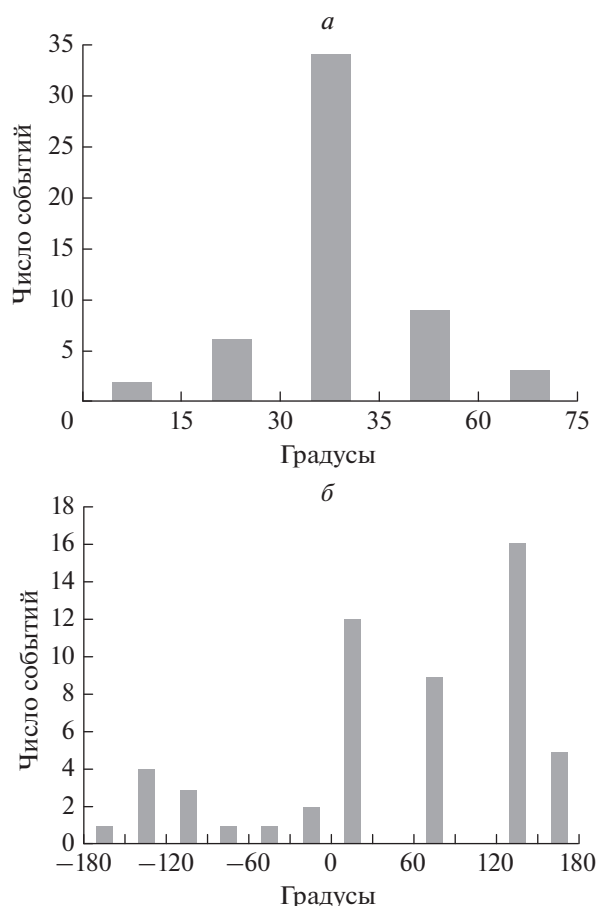


Рис. 9. Распределение источников УНЧ-электромагнитных сигналов по широте (а) и долготе (б) для северного полушария по наблюдениям в Колледже.

2. Анализ пространственного распределения источников электромагнитного излучения, доступный при дистанционной регистрации импульсных сигналов, показал их широкое географическое распространение по земному шару. Динамические спектры импульсных предвестников были подобны, повторялись при разных магнитудах и глубинах очага и наблюдались в выделенном, относительно момента землетрясения, интервале времени.

Обнаруженные сигналы можно рассматривать как проявление предваряющих землетрясение процессов преобразования механической энергии в энергию электромагнитного излучения, которые не связаны с процессами в очаге и не зависят от параметров грядущего землетрясения. Вопрос о их возможной физической природе был рассмотрен в работе [Dovbnya et al., 2019] в рамках модели Рейда [Reid, 1910], в которой землетрясение связывается с разрушением зацеплений на границе двух смежных плит. Предполагается, что резкое сжатие пород, предшествующее их разрушению, может привести к генерации электромаг-

нитного импульса (пьезомагнитный эффект) или серии из двух и более импульсов при неоднородной структуре межблочных зацеплений. В рамках этой гипотезы находит объяснение и предпочтительное появление предвестников в выделенном и близком относительно момента землетрясения интервале времени, и отсутствие пороговых значений M .

На основании полученных результатов делают следующие выводы:

1. Появление перед землетрясениями электромагнитных сигналов не есть случайный акт отдельного землетрясения, но является проявлением предваряющих землетрясение процессов, протекающих с преобразованием механической энергии в энергию электромагнитного излучения. Подобие и повторяемость спектральных форм импульсных предвестников независимо от региона и параметров землетрясения позволяет сделать предположение об универсальности предваряющих землетрясение процессов генерации сигналов.

2. Появление перед землетрясениями импульсных сигналов известной спектральной формы, их

широкое пространственное распространение и межрегиональный характер, подобие и повторяемость в афтершоках создают возможность оперативного предупреждения (за несколько мин) о предстоящем землетрясении в большинстве сейсмоопасных регионах Земли.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 28 Президиума РАН, проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 19-05-00574 и государственного задания № 0144-2014-00116.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука. 208 с. 1973.
- Довбня Б.В., Зотов О.Д., Мострюков А.Ю., Щенетнов Р.В. Электромагнитные сигналы во временной окрестности землетрясений // Физика Земли. Т. 42. № 8. С. 60–65. 2006.
<https://doi.org/10.1134/S1069351306080052>
- Довбня Б.В., Зотов О.Д., Щенетнов Р.В. Связь УНЧ электромагнитных волн с землетрясениями и антропогенными воздействиями // Геофизические исслед. Т. 9. С. 3–23. 2008.
- Довбня Б.В. Об эффектах землетрясений в геомагнитных пульсациях и их возможной природе // Геофизический журн. Т. 33. № 1. С. 72–79. 2011.
- Довбня Б.В. Электромагнитные предвестники землетрясений и их повторяемость // Геофизический журн. Т. 36. № 3. С. 160–165. 2014.
<https://doi.org/10.24028/gzh.02033100.v36i3.2014.116069>
- Довбня Б.В., Потапов А.С., Гульельми А.В., Рахматулин Р.А. О воздействии МГД резонаторов на геомагнитные пульсации // Геофизический журн. Т. 36. № 6. С. 143–152. 2014.
<https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i6.2014.111053>
- Костерин Н.А., Пилипенко В.А., Дмитриев Э.М. О глобальных ультранизкочастотных электромагнитных сигналах перед землетрясениями // Геофизические исслед. Т. 16. № 1. С. 24–34. 2015.
- Малышков Ю.П., Джумабаев К.Б. Прогнозирование землетрясений по параметрам естественного импульсного электромагнитного поля Земли // Вулканология и сейсмология. № 1. С. 97–103. 1987.
- Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра Земли // Геология и геофизика. № 2. С. 152–172. 2009.
- Bernardi A., Fraser-Smith A.C., McGill P.R., Villard O.G., Jr. ULF magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake // Physics Earth Planet In. V. 68. P. 45–63. 1991.
- Dovbnaya B.V., Pashinin A.Yu., Rakhmatulin R.A. Short-term electromagnetic precursors of earthquakes // Geodynamics and Tectonophysics. V. 10. № 3. P. 731–740. 2019.
<https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-3-0438>
- Fraser-Smith A.C., Bernardi A., McGill P.R., Ladd M.E., Helliwell R.A., Villard O.G., Jr. Low-frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake // Geophys. Res. Lett. V. 17. P. 1465–1468. 1990.
- Hayakawa M. Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes // Transworld Research Network, Trivandrum, India. 279 p. 2009.
- Hayakawa M. Earthquake Prediction Studies: Seismo Electromagnetics // Terra Scientific Publishing, Tokyo. 168 p. 2013.
- Hayakawa M. Seismo Electromagnetics and Earthquake Prediction: History and New directions // Intern. J. Electronics and Applied Research (IJEAR). V. 6. № 1. P. 1–23. 2019.
<https://doi.org/10.33665/IJEAR.2019.v06i01.001>
- Hayakawa M., Molchanov O.A. Seismo Electromagnetics: Lithosphere–Atmosphere–Ionosphere Coupling // Terra Scientific Publishing, Tokyo. 477 p. 2002.
- Ismaguilov V.S., Kopytenko Yu.A., Hattori K., Voronov P.M., Molchanov O.A., Hayakawa M. ULF Magnetic Emissions Connected with Under Sea Bottom Earthquakes // Nat Hazard Earth Sys. V. 1. P. 1–9. 2001.
- Kopytenko Yu.A., Matiashvili T.G., Voronov P.M., Kopytenko E.A., Molchanov O.A. Detection of Ultra-Low-Frequency emissions connected with the Spitak earthquake and its aftershock activity, based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories // Physics Earth Planet In. V. 77. P. 85–95. 1993.
- Masci F., Thomas J.N. Are there new findings in the search for ULF magnetic precursors to earthquakes? // J. Geophys. Res. Space. V. 120. № 10. P. 289–304. 2015.
<https://doi.org/10.1002/2015JA021336>
- Molchanov O.A. Discovering of ultra-low-frequency emissions connected with Spitak earthquake and its aftershock activity on data of geomagnetic pulsations observations at Dusheti and Vardzija // Preprint. Moskva: IZMIRAN. № 3(888). 27 p. 1990.
- Molchanov O.A., Kopytenko Yu.A., Voronov P.M., Kopytenko E.A., Matiashvili T.G., Fraser-Smith A.C., Bernardy A. Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitak (MS = 6.9) and the Loma-Prieta (MS = 7.1) earthquakes: Comparative analysis // Geophys. Res. Lett. № 19. P. 1495–1498. 1992.
- Moore G. Magnetic disturbances proceeding the 1964 Alaska earthquake // Nature. V. 203. № 4944. P. 508. 1964.
- Reid H.F. The Mechanics of the Earthquake, V. 2. Of the California Earthquake of April 18, 1906 // Report of the State Earthquake Investigation Commission: Carnegie Institution of Washington Publication. № 87. P. 192. 1910.
- Thomas J.N., Love J.J., Johnston M.J. On the reported magnetic precursor of the 1989. Loma Prieta earthquake // Physics Earth Planet In. V. 173. № 3. P. 207–215. 2009a.
<https://doi.org/10.1016/j.pepi.2008.11.014>
- Thomas J.N., Love J.J., Johnston M.J., Yumoto K. On the reported magnetic precursor of the 1993 Guam earthquake // Geophys. Res. Lett. V. 36, L16301. 2009b.
<https://doi.org/10.1029/2009GL039020>
- Varotsos P., Alexopoulos K., Nomicos K., Lazaridou M. Earthquake prediction and electric signals // Nature. V. 322. Issue 6075. P. 120. 1986.