

УДК 550.34,523.9

О ГЕОСЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМАХ И ГЕЛИОСЕЙСМИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ

© 2021 г. А. В. Гульельми^{1,*}, О. Д. Зотов^{1,2,**}

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

²Геофизическая обсерватория “Борок” ИФЗ РАН, пос. Борок, Россия

*E-mail: guglielmi@mail.ru

**E-mail: ozotov@mail.ru

Поступила в редакцию 20.04.2020 г.

После доработки 09.12.2020 г.

Принята к публикации 22.01.2021 г.

Г.А. Соболев и его коллеги опубликовали в журнале “Физика Земли” статью [Соболев и др., 2020], в которой обсуждались полученные авторами результаты. Во-первых, обращено внимание на то, что важнейшим элементом магнитной бури, влияющей на сейсмическую активность, являются геомагнитные пульсации Pc5. В рамках магнитной гидродинамики Pc5 интерпретируются как стоячие волны Альвена. Возможно, что именно волны Альвена индуцируют колебания, зарегистрированные авторами указанной статьи. Во-вторых, изложена гипотеза о том, что в спектр Pc5 вносят вклад 5-минутные колебания Солнца, известные из гелиосейсмологии. Таким образом, по-видимому, намечается еще один канал воздействия Солнца на Землю, в частности на ее сейсмичность. Специальное внимание уделено вопросу об инструментальной помехе.

Ключевые слова: сейсмология, гелиосейсмология, магнитная буря, волны Альвена, геомагнитные пульсации, электромагнитная помеха.

DOI: 10.31857/S0002333721040050

1. ВВЕДЕНИЕ

Идея о связи между сейсмическими и геомагнитными явлениями, выдвинутая в конце позапрошлого века казанским ученым, педагогом и общественным деятелем Александром Петровичем Орловым, до сих пор привлекает внимание сейсмологов и геомагнитологов (см. обзор [Гульельми, 2019], в котором содержится обширная библиография по сейсмоэлектромагнетизму). Недавно на страницах журнала “Физика Земли” была опубликована интересная статья [Соболев и др., 2020], которая и послужила поводом для написания данной дискуссионной заметки.

В указанной статье детально описано воздействие магнитных бурь на низкочастотный сейсмический шум. Для исследования использована глобальная сеть сейсмических и магнитометрических станций. Обнаружены сейсмические шумы с амплитудой ~2 мкм и с характерными периодами в несколько минут, коррелирующие с колебаниями геомагнитного поля. Авторами “предполагается, что резкие изменения электромагнитного поля во время бури служат триггером высвобождения накопленной в Земле энергии” [Соболев и др., 2020].

В разделе 2 обращено внимание на то, что важнейшим элементом магнитной бури являются геомагнитные пульсации Pc5, и высказано предположение, что Pc5 индуцируют колебания, зарегистрированные авторами работы [Соболев и др., 2020]. Раздел 3 посвящен обсуждению сценария [Guglielmi, Potapov, 2018], согласно которому 5-минутные колебания поверхности Солнца возбуждают в межпланетной среде волны Альвена, проникающие в магнитосферу Земли и дающие вклад в спектр геомагнитных пульсаций Pc5. В разделе 4 кратко рассмотрен вопрос об инструментальных помехах. В разделе 5 высказано спекулятивное предположение о генетической связи по крайней мере части геосейсмических шумов, зарегистрированных в работе [Соболев и др., 2020], с гелиосейсмическими колебаниями.

2. ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ Pc5

Магнитная буря возникает под воздействием Солнца на Землю и представляет собой наиболее мощное и яркое явление в физике солнечно-земных связей. Во время бури, которая обычно продолжается от нескольких часов до нескольких дней, плазменные оболочки планеты – магнито-

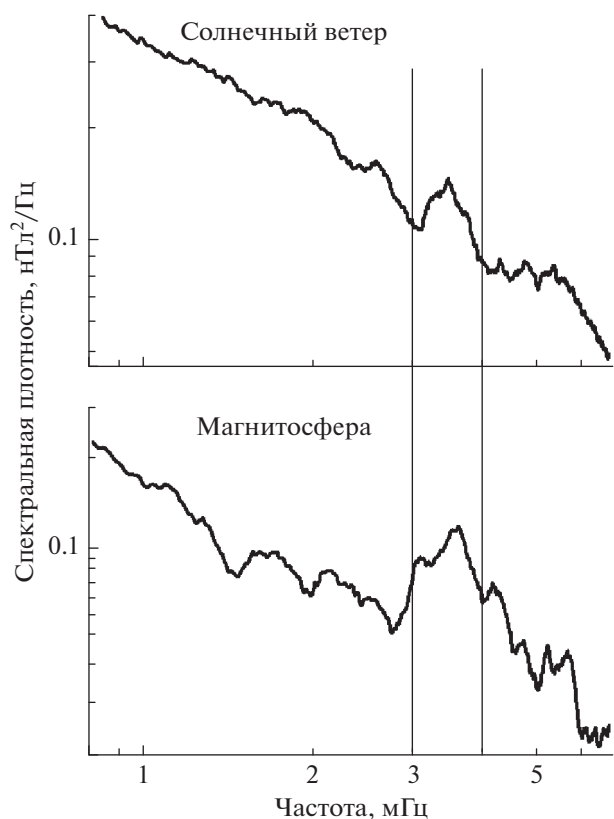


Рис. 1. Спектры колебаний, наблюдавшихся в диапазоне Pc5 одновременно космическим аппаратом ACE в солнечном ветре на орбите Земли (верхняя панель) и спутником GOES-11 в магнитосфере на геостационарной орбите (нижняя панель) 13.03.2009 г. [Guglielmi, Potarov, 2018].

сфера и ионосфера — сильно возмущены. Возмущения охватывают также атмосферу и литосферу.

Как правило, буря сопровождается возбуждением в магнитосфере геомагнитных пульсаций Pc5. В рамках магнитной гидродинамики Pc5 интерпретируются как стоячие волны Альвена [Альвен, Фельтхаммар, 1967; Гульельми, Троицкая, 1973]. По международной классификации ультранизкочастотных электромагнитных волн диапазон периодов Pc5 простирается от 150 до 600 с (см. например [Троицкая, Гульельми, 1969; Guglielmi, Pokhotelov, 1996]). Именно в этом диапазоне зарегистрировано повышение сейсмических шумов во время бури, коррелирующее с колебаниями геомагнитного поля [Соболев и др., 2020].

Амплитуда Pc5 весьма велика. На высоких широтах она достигает 100–200 нТл, что сопоставимо с максимальной глубиной *Dst*-вариации сильной магнитной бури. В экстремальных событиях амплитуда на высоких широтах достигает 1000 нТл. Учтем теперь, что Pc5 глубоко проникают в литосферу. По оценке [Соболев и др., 2020], колебания с периодом 5 мин проникают на 10 км и более

в континентальную кору. Естественно напрашивается предположение, что колебания Pc5 являются причиной повышения уровня сейсмических шумов во время сильной магнитной бури, обнаруженного в работе [Соболев и др., 2020].

3. О ВОЗБУЖДЕНИИ Pc5 КОЛЕБАНИЯМИ ФОТОСФЕРЫ

В рамках стандартной модели возбуждение Pc5 происходит самопроизвольно вследствие колебательной неустойчивости магнитосферы при обтекании ее солнечным ветром. Другими словами, Pc5 есть автоколебания магнитосферы. Эта точка зрения имеет экспериментальные подтверждения [Нишида, 1980]. В то же время она не исключает альтернативных механизмов возбуждения Pc5. Остановимся на одном из них.

Идея состоит в том, что в наблюдаемый спектр Pc5 вносят заметный вклад вынужденные колебания магнитосферы Земли, возникающие под воздействием внешней силы с квазипериодом 5 мин, источник которой располагается на поверхности Солнца [Guglielmi, Potarov, 2018; Гульельми, Потаров, 2020]. Источником являются перманентные 5-минутные колебания фотосферы, хорошо известные в гелиосейсмологии [Leighton et al., 1962; Воронцов, Жарков, 1981].

В пользу гипотезы о гелиосейсмическом происхождении части Pc5 свидетельствует ряд фактов. Опыт наблюдения ультранизкочастотных колебаний на мировой сети магнитных обсерваторий свидетельствует о том, что в диапазоне Pc5 чаще, чем можно ожидать из статистических соображений с учетом непрерывности спектра МГД колебаний геомагнитных оболочек, регистрируются колебания с периодом 5 мин. Далее, для волн Альвена в межпланетной среде, бегущих от Солнца, также характерен 5-минутный период колебаний. Показательна в этом отношении верхняя панель на рис. 1. На ней показан спектр волн Альвена, наблюдавшихся в солнечном ветре перед фронтом магнитосферы. В полосе частот 3–4 мГц мы видим явное повышение спектральной плотности. Заметим, что гелиосейсмические колебания имеют несколько размытый спектр, центрированный на частоте 3.3 мГц. Это косвенно свидетельствует о том, что мы имеем дело с волнами Альвена, источником которых служат 5-минутные колебания солнечной поверхности. Набегая на магнитосферу, волны Альвена возбуждают пульсации Pc5 в той же полосе частот, как это видно на нижней панели рис. 1.

Еще одним косвенным свидетельством в пользу гипотезы о воздействии волн Альвена гелиосейсмического происхождения на колебания магнитосферы служит частотная модуляция так называемой серпентинной эмиссии. Подробнее о про-

исхождении и свойствах серпентинной эмиссии написано в статье [Guglielmi et al., 2015]. Здесь же мы ограничимся указанием на тот факт, что среди многообразия форм частотной модуляции чаще, чем это можно было бы ожидать, встречается квазипериодическая 5-минутная модуляция.

Мы должны отдавать себе отчет в том, что гипотеза о гелиосейсмическом происхождении определенной части геомагнитных пульсаций Pc5 является радикальной, поскольку предсказывает месторасположение источника колебаний на расстоянии 150 млн км от Земли [Guglielmi, Potapov, 2018; Гульельми, Потапов, 2020]. Она не отвергает полностью широко известного традиционного представления о внутримангнитосферном происхождении Pc5 [Troitskaya, Guglielmi, 1967; 1969; 1970; Гульельми, Троицкая, 1969; 1973; Нишида, 1980; Guglielmi, Pokhotelov, 1996], но настоятельно диктует необходимость пересмотра подхода к организации и обработке наблюдений и к анализу спектрального состава Pc5. Гипотеза предсказывает, что в спектре Pc5 есть участок, обладающий определенной ригидностью. А именно, при вариациях динамического напора солнечного ветра существует более или менее стабильное повышение спектральной плотности на частоте 3.3 мГц, которая совпадает с частотой перманентных 5-минутных колебаний поверхности Солнца. Не наблюдаем ли мы на Земле далекое последствие гелиосейсмических колебаний?

4. ОБ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПОМЕХЕ

Хорошо известно, что магнитометры реагируют на сейсмические колебания, а сейсмометры на колебания геомагнитного поля. Еще в 1681 г. падре Эсхинарди (Eschinardi) отметил воздействие землетрясения на показания магнитометра в Риме (см. [Burbank, 1905]). Нечто похожее наблюдалось во время Лиссабонского землетрясения. Явлением интересовались многие естествоиспытатели, в частности Гумбольдт. Фолк Элеман тщательно проанализировал реакцию магнитных инструментов на сейсмические колебания и в дополнение к сети сейсмостанций использовал мировую сеть магнитных обсерваторий для изучения волн Рэлея, возбужденных катастрофическим землетрясением на Аляске [Eleman, 1966].

При изучении геомагнитных вариаций космического происхождения сейсмические колебания создают инструментальную помеху. В то же время, при изучении магнитных сигналов, возбужденных в земной коре сейсмическими колебаниями, показания магнитометров содержат полезную информацию, которую можно извлечь, избавившись от так называемых микрофонной и сейсмографической помех [Гульельми, 2007; 2019].

Сейсмометр, как и магнитометр, не защищен полностью от паразитных наводок. Инструментальные помехи возникают, в частности, из-за реакции сейсмометра на вариации геомагнитного поля. Этой проблеме посвящена специальная литература (см., например, [Forbriger, 2007; Forbriger et al., 2010; Kozlovskaya, Kozlovsky, 2012; Diaz et al., 2020]). Судя по контексту, авторы статьи [Соболев и др., 2020] вполне осознают возможность регистрации широкополосным сейсмометром паразитных сигналов космического происхождения. В указанной статье изложены аргументы, исключающие такую возможность в данном конкретном случае, и у нас нет оснований сомневаться в убедительности приведенной аргументации. Тем не менее, мы сочли полезным специально отметить проблему инструментальных помех, поскольку она является общей для сейсмоэлектромагнитных исследований.

5. ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего подчеркнем, что сейсмомагнетизм развивается в основном на эмпирической основе, причем довольно прочной, свидетельством чему служит обсуждаемая нами статья [Соболев и др., 2020] (см. также недавние публикации [Nayaakawa, 2001; Закржевская, Соболев, 2004; Савин, Смагин, 2004; Гульельми, 2007; Зотов, Гульельми, 2010; Собисевич и др., 2010; Тарасов, 2010; Гульельми, Зотов, 2012; Страхов, Савин, 2013; Гульельми и др., 2015; 2020; Dovbnya et al., 2019; Гульельми, Клайн, 2020]).

Настойчивость исследователей в поиске эффектов воздействия геомагнитных вариаций на сейсмичность мотивирована давлением опытных фактов. Рассмотрим, например, рис. 2. Мы видим распределения землетрясений по величине глобальной суточной магнитуды M_g в экстремально возмущенных (D) и экстремально спокойных (Q) геомагнитных условиях. Распределения построены по данным непрерывных наблюдений в течение 20 лет [Гульельми и др., 2020]. При переходе от Q к D рядам наблюдения существенным образом изменяется фундаментальная характеристика сейсмичности, а именно наклон распределения Гутенберга–Рихтера к оси магнитуд. Статистический анализ сопоставления двух распределений не оставляет сомнения в реальности воздействия геомагнитных вариаций на планетарную активность землетрясений. Результат имеет фундаментальное значение для динамики геосфер, убедительно свидетельствуя о воздействии на литосферу нестационарных процессов в плазменных оболочках планеты.

Внимательное чтение статьи [Соболев и др., 2020] натолкнуло нас на мысль о возможной связи между солнечной сейсмологией и земной сейсмологией в той ее части, которая относится к

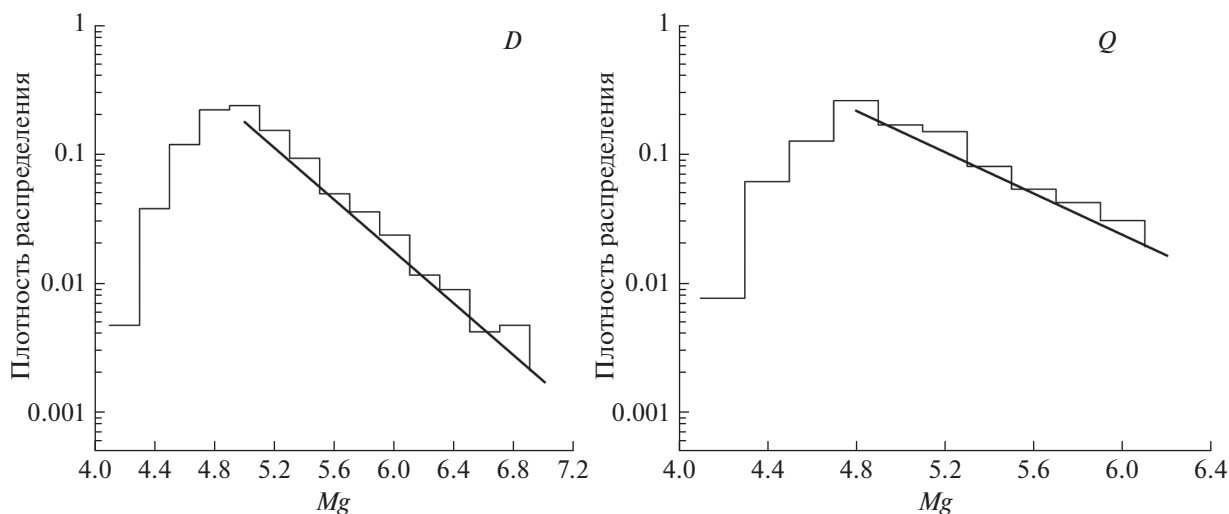


Рис. 2. Плотность распределения землетрясений по величине Mg в возмущенных (левая панель) и в спокойных (правая панель) геомагнитных условиях [Гульельми и др., 2020].

изучению сейсмических шумов. Дело здесь не только в том, что период 5-минутных гелиосейсмических колебаний попадает в диапазон периодов сейсмических шумов, исследованных авторами обсуждаемой статьи. Определенную роль сыграло и то обстоятельство, что не известный ранее в солнечно-земной физике канал переноса 5-минутных колебаний Солнца через межпланетное пространство в магнитосферу Земли был тщательно продуман и экспериментально обоснован в работах [Потапов, Полюшкина, 2010; Guglielmi et al., 2015; Guglielmi, Potarov, 2018; Гульельми, Потапов, 2017; 2020; Довбня и др., 2017; Довбня, Потапов, 2018].

При обсуждении проблемы в целом нельзя не сказать, что физико-математические основы сейсмoeлектродинамики еще не вполне сформировались. Вопрос о механоэлектромагнитных преобразованиях в земной коре оказался исключительно сложным. Сошлемся здесь на работы [Гульельми, 1992; Файнберг и др., 2004; Бучаченко, 2019], в которых были предложены механический, тепловой и химический механизмы воздействия магнитных колебаний на сейсмичность. В статье [Соболев и др., 2020] приведена более развернутая библиография, но ни в одной из опубликованных работ не содержится общепринятого решения проблемы. В заключение данного раздела статьи сделаем некоторые пояснения по вопросу о тепловом механизме, поскольку в работе [Соболев и др., 2020] этому вопросу уделено специальное внимание.

Покажем, что в однородном проводящем полупространстве нагрев токами Фуко \mathbf{j} не зависит от величины электропроводности. Данное высказывание звучит парадоксально, так что уместно сделать расчет. По закону Джоуля–Ленца усред-

ненная по периоду колебаний мощность преобразования электромагнитной энергии в тепловую в единице объема равна $Q = j^2/2\sigma$, где σ – удельная электропроводность. В квазистационарном приближении $\mathbf{j} = (c/4\pi)\text{rot}\mathbf{H}$. Для простоты и конкретности примем, что индуцирующее магнитное поле линейно поляризовано таким образом, что $\mathbf{H} = (H, 0, 0)$, причем плоскость x, y декартовых координат совпадает с плоской поверхностью земли, а ось z направлена вниз. На поверхности земли выполняется граничное условие Леонтовича [Гульельми, 2010]. Отсюда следует, что:

$$H(z) = H(0)\exp(ikz), \quad (1)$$

где: $k = (1 + i)/\delta$ – комплексное волновое число; $\delta = c/\sqrt{2\pi\sigma\omega}$ – толщина скин-слоя; c – скорость света; ω – частота колебаний; $z \geq 0$. С учетом (1) нетрудно убедиться, что Q не зависит от σ . Вполне понятно, что эффективный нагрев среды токами Фуко происходит лишь в пределах толщины скин-слоя.

Значительную часть земной коры покрывает морская вода, имеющая проводимость $\sigma' \gg \sigma$. Соответственно этому предыдущий расчет можно уточнить, если воспользоваться граничным условием Леви–Чивиты [Бейтмен, 1958] при условии, что глубина воды много меньше толщины скин-слоя. Здесь уместно сделать небольшое уточнение. В работе [Соболев и др., 2020, с. 24] сказано, что глубина проникновения переменного магнитного поля с периодом 300 с в морскую воду не превышает 1 км. Между тем, расчет по формуле $\delta' = c/\sqrt{2\pi\sigma'\omega}$ дает величину $\delta' = 5$ км.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, в данной статье мы изложили два предположения, которые возникли у нас при внимательном изучении фундаментальной работы [Соболев и др., 2020]:

1. Реакция сейсмических шумов на геомагнитную бурю, обнаруженная в указанной работе, связана с возбуждением в магнитосфере ультранизкочастотных электромагнитных колебаний Pc5, интенсивность которых сильно возрастает во время главной фазы бури.

2. Одним из источников Pc5 являются сейсмические колебания солнечной фотосферы. Эта идея, высказанная ранее в работе [Гульельми, Потапов, 2020], интересна в свете гипотетического и весьма парадоксального представления о воздействии 5-минутных колебаний поверхности Солнца на земную кору.

Мы полагаем, что было бы разумно продолжить исследование, начатое в работе [Соболев и др., 2020]. При этом желательно одновременно и, по возможности, в одном месте регистрировать сейсмический шум и геомагнитные пульсации Pc5. Особый интерес представляет поиск событий, при которых в спектре сейсмического шума и в спектре Pc5 наблюдаются пики на частоте 3.3 мГц, аналогичные тем, что мы видим на рис. 1.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов 18-05-00096 и 19-05-00574, а также программы государственных заданий ИФЗ РАН.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарим Б.И. Клайна и Н.А. Куражковскую за обсуждение проблемы воздействия переменного геомагнитного поля на сейсмичность, а также А.С. Потапова за обсуждение проблемы воздействия гелиосейсмических колебаний на колебания магнитосферы в диапазоне Pc5. Мы признательны рецензентам за ценные замечания, в особенности за указание на необходимость осветить вопрос об инструментальных помехах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альвен Г., Фельтхаммар К.-Г. Космическая электродинамика. М.: Мир. 1967. 260 с.
- Бучаченко А.Л. Микроволновое стимулирование дислокаций и магнитный контроль очага землетрясения // УФН. 2019. Т. 189. С. 47–54.
- Воронцов С.В., Жарков В.Н. Собственные колебания Солнца и планет-гигантов // УФН. 1981. Т. 134. С. 675–710.
- Гульельми А.В. Пондеромоторные силы в коре и в магнитосфере Земли // Физика Земли. 1992. № 7. С. 35–40.

Гульельми А.В. Ультранизкочастотные электромагнитные волны в коре и в магнитосфере Земли // УФН. 2007. Т. 177. № 12. С. 1257–1276.

Гульельми А.В. К 70-летию формулировки граничного условия Леонтовича // УФН. 2010. Т. 180. № 1. С. 105–106. <https://doi.org/10.3367/UFN.0180.201001g.0105>

Гульельми А.В. История становления сейсмоэлектродинамики // Наука и технологические разработки. 2019. Т. 98. № 1. С. 5–20. [Тематический выпуск “Методические аспекты применения электромагнитных методов в геофизических исследованиях”].

Гульельми А.В., Зотов О.Д. О магнитных возмущениях перед сильными землетрясениями // Физика Земли. 2012. № 2. С. 84–87.

Гульельми А.В., Лавров И.П., Собисевич А.Л. Внезапные начала магнитных бурь и землетрясения // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1. № 1. С. 98–103.

Гульельми А.В., Клайн Б.И. О воздействии Солнца на сейсмичность Земли // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6. № 1. С. 111–115.

Гульельми А.В., Клайн Б.И., Куражковская Н.А. Землетрясения и геомагнитные возмущения // Солнечно-земная физика. 2020. Т. 6. № 4. С. 99–104. <https://doi.org/10.12737/szf-54201911>

Гульельми А.В., Потапов А.С. Волны от Солнца: к 100-летию со дня рождения В.А. Троицкой // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3. № 3. С. 95–99. <https://doi.org/10.12737/szf-33201709>

Гульельми А.В., Потапов А.С. Частотно-модулированные УНЧ волны в околоземном космическом пространстве // УФН. 2021. № 3. <https://doi.org/10.3367/UFN.2020.06.038777>

Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука. 1973. 208 с.

Довбня Б.В., Клайн Б.И., Гульельми А.В., Потапов А.С. Спектр частотной модуляции серпентиной эмиссии как отражение спектра солнечных колебаний // Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3. № 1. С. 59–62. <https://doi.org/10.12737/23043>

Довбня Б.В., Потапов А.С. Исследование частотной модуляции серпентинной эмиссии // Физика Земли. 2018. № 5. С. 19–26.

Закржевская Н.А., Соболев Г.А. Влияние магнитных бурь с внезапным началом на сейсмичность в различных регионах // Вулканология и сейсмология. 2004. № 3. С. 63–75.

Зотов О.Д., Гульельми А.В. Проблемы синхронизма электромагнитных и сейсмических событий в динамической системе “Магнитосфера—Техносфера—Литосфера” // Солнечно-земная физика. 2010. Вып. 16. С. 19–25.

Нишида А. Геомагнитный диагноз магнитосферы. М.: Наука. 1980. 299 с.

Потапов А.С., Полошкина Т.Н. Экспериментальное свидетельство прямого проникновения ULF-волн из солнечного ветра и ускорения ими электронов радиационного пояса // Солнечно-земная физика. 2010. Вып. 15. С. 28–34.

Савин М. Г., Смагин С. И. Применение МГД-генераторов в геофизических исследованиях на Дальнем Востоке // Вестн. ДВО РАН. 2004. № 2. С. 129–143.

- Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Наблюдения УНЧ геомагнитных возмущений, отражающих процессы подготовки и развития цунамигенных землетрясений // Докл. РАН. 2010. Т. 435. № 4. С. 1–6.
- Соболев Г.А., Закржевская Н.А., Мигунов И.Н., Соболев Д.Г., Бойко А.Н. Влияние магнитных бурь на низкочастотный сейсмический шум // Физика Земли. 2020. № 3. С. 3–28.
- Страхов В.Н., Савин М.Г. Об управлении сейсмической активностью // Геофизический журн. 2013. Т. 35. № 6. С. 3–9.
- Тарасов Н.Т. Влияние сильных электромагнитных полей на скорость сейсмотектонических деформаций // Докл. РАН. 2010. Т. 433:5. С. 689–692.
- Троицкая В.А., Гульельми А.В. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы // УФН. 1969. Т. 97. Вып. 3. С. 453–494.
- Файнберг Э.Б., Авагимов А.А., Зейгарник В.А., Васильева Т.А. Генерация тепловых потоков в недрах Земли мировыми магнитными бурями // Физика Земли. 2004. № 4. С. 54–62.
- Burbank J.E. Earthquake disturbances recorded on the magnetographs at the observatories of the United States Coast and Geodetic Survey: № 1 // Terr. Magn. Atmos. Electr. 1905. V. 10. № 3. P. 113–164.
- Díaz J., Ruiz M., Curto J.J., Torta J.M., Ledo J., Marcuelloand A., Queralt P. On the observation of magnetic events on broad-band seismometers // Earth, Planets Space. 2020. V. 72. P. 109.
<https://doi.org/10.1186/s40623-020-01236-9>
- Dobnnya B.V., Pashinin A.Yu., Rakhmatulin R.A. Short-term electromagnetic precursors of earthquakes // Geodynamics and tectonophysics. 2019. V. 10. № 3. P. 731–740.
- Eleman F. The response of magnetic instruments to earthquake waves II // J. Geomag. Geoelectr. 1966. V. 18. № 1. P. 43–72.
- Forbriger T. Reducing magnetic field induced noise in broad-band seismic recordings // Geophys. J. Int. 2007. V. 169. P. 240–258.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03295.x>
- Forbriger T., Widmer-Schnidrig R., Wielandt E., Hayman M., Ackerley N. Magnetic field background variations can limit the resolution of seismic broad-band sensors // Geophys. J. Int. 2010. V. 183. P. 303–312.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04719.x>
- Guglielmi A.V., Pokhotelov O.A. Geoelectromagnetic waves. Bristol: IOP Publ. Ltd. 1996. 402 p.
- Guglielmi A.V., Potapov A.S. Do 5-minute oscillations of the Sun affect the magnetosphere and lithosphere of the Earth? 2018. arXiv:1808.05367 [physics.geo-ph]
- Guglielmi A., Potapov A., Dobnnya B. 5-minute solar oscillations and ion cyclotron waves in the solar wind // Solar Phys. 2015. V. 290. № 10. P. 3023–3032.
<https://doi.org/10.1007/s11207-015-0772-2>
- Hayakawa M. Electromagnetic phenomena associated with earthquakes: Review // Trans. Ins. Electr. Engrs. of Japan. 2001. V. 121A. P. 893–898.
- Kozlovskaya E., Kozlovsky A. Influence of high-latitude geomagnetic pulsations on recordings of broadband force-balanced seismic sensors // Geosci. Instrum. Method. Data Syst. 2012. V. 1. P. 85–101.
<https://doi.org/10.5194/gi-1-85-2012>
- Leighton R.B., Noyes R.W., Simon G.W. Velocity fields in the solar atmosphere // Astrophys. J. 1962. V. 135. P. 474–499.
- Troitskaya V.A., Guglielmi A.V. Geomagnetic micropulsations and diagnostics of the magnetosphere // Space Sci. Rev. 1967. V. 7. № 5/6. P. 689–769.
- Troitskaya V.A., Guglielmi A.V. Diagnostics of the parameters of the magnetosphere and of the interplanetary space by means of micropulsations. Low-frequency waves and irregularities in the ionosphere / Ed. N. D'Angelo. Dordrecht-Holland: D. Reidel Publ. Co. 1969. P. 120–136.
- Troitskaya V.A., Guglielmi A.V. Hydromagnetic diagnostics of plasma in the magnetosphere // Ann. Geophys. 1970. V. 26 № 4. P. 893–902.

On Geoseismic Noise and Helioseismic Oscillations

A. V. Guglielmi^{a, *} and O. D. Zotov^{a, b, **}

^aSchmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia

^bGeophysical Observatory “Borok”, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Borok, Yaroslavl oblast, 152742 Russia

*e-mail: guglielmi@mail.ru

**e-mail: ozotov@mail.ru

In the paper (Sobolev et al., 2020) published in the *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, G.A. Sobolev et al. discuss the results obtained by their study. Firstly, it is noted that the most important element of the magnetic storm affecting the seismicity is the Pc5 geomagnetic pulsations. In the context of magnetohydrodynamics, Pc5 are interpreted as standing Alfvén waves. Perhaps, it is the Alfvén waves that induce oscillations recorded by the authors of the cited paper. Secondly, it is hypothesized that the Pc5 spectrum is contributed by the solar 5-min oscillations known in helioseismology. Thus, it is likely that there is yet another channel of influence through which the Sun affects the Earth, in particular, the Earth’s seismicity. Special attention is paid to the questions concerning the instrumental noise.

Keywords: seismology, helioseismology, magnetic storm, Alfvén waves, geomagnetic pulsations, electromagnetic noise