
ВОЛНЫ ОТ СОЛНЦА: К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.А. ТРОИЦКОЙ

WAVES FROM THE SUN: TO THE 100th ANNIVERSARY OF V.A. TROITSKAYA'S BIRTH

А.В. Гульельми*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН,
Москва, Россия, guglielmi@mail.ru***А.С. Потапов***Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, potapov@iszf.irk.ru***A.V. Guglielmi***Institute of Physics of the Earth RAS,
Moscow, Russia, guglielmi@mail.ru***A.S. Potapov***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, potapov@iszf.irk.ru*

Аннотация. Прошло сто лет со дня рождения выдающегося ученого — профессора В.А. Троицкой. Ее достижения в солнечно-земной физике широко известны. На протяжении многих лет Валерия Алексеевна была президентом Международной ассоциации по геомагнетизму и аэронауке. Данная статья посвящена лишь одному аспекту многогранной творческой активности В.А. Троицкой. Он относится к проблеме поиска источников ультранизкочастотных (УНЧ) электромагнитных колебаний и волн за пределами магнитосферы Земли. Авторам статьи посчастливилось работать под руководством В.А. Троицкой над этой проблемой. Мы кратко изложили историю исследований от зарождения идеи внемагнитосферного происхождения дневных перманентных УНЧ-колебаний в конце 60-х гг. прошлого века до современных поисков наземными и спутниковыми средствами УНЧ-волн, возбужденных колебаниями поверхности Солнца, распространяющихся в межпланетной среде и достигающих Земли.

Ключевые слова: геоэлектромагнитные колебания, ультранизкие частоты, волны Альфвена, магнитосфера, солнечный ветер, межпланетное магнитное поле, гелиосейсмология.

Abstract. It has been one hundred years since the birth of the outstanding scientist Professor V.A. Troitskaya. Her remarkable achievements in solar-terrestrial physics are widely known. For many years, Valeria Alekseevna was the President of the International Association of Geomagnetism and Aeronomy. This article deals with only one aspect of the multifaceted creative activity of V.A. Troitskaya. It relates to the problem of sources of ultra-low frequency (ULF) electromagnetic oscillations and waves outside Earth's magnetosphere. We were fortunate to work under the leadership of V.A. Troitskaya on this problem. In this paper, we briefly describe the history from the emergence of the idea of the extramagnetospheric origin of dayside permanent ULF oscillations in the late 1960s to the modern quest made by ground and satellite means for ULF waves excited by solar surface oscillations propagating in the interplanetary medium and reaching Earth.

Keywords: geoelectromagnetic oscillations, ultra-low frequency, Alfvén waves, magnetosphere, solar wind, interplanetary magnetic field, helioseismology.

В этом году мы отмечаем столетие со дня рождения Валерии Алексеевны Троицкой (1917–2010). Ее выдающиеся достижения в солнечно-земной физике широко известны. Ее заслуги в организации и проведении международных исследований геоэлектромагнитного поля были высоко оценены мировым научным сообществом. На протяжении многих лет Валерия Алексеевна была президентом Международной ассоциации по геомагнетизму и аэронауке.

В данной статье мы осветим один аспект многогранной творческой активности профессора В.А. Троицкой. Он относится к проблеме происхождения ультранизкочастотных (УНЧ) электромагнитных колебаний и волн. Нам, авторам статьи, посчастливилось работать под руководством В.А. Троицкой над этой проблемой. И мы хорошо помним благотворную атмосферу интеллектуального подъема, которую она умела создавать в исследовательском коллективе, помогая нам во время научных поисков и разделяя с нами радость удачных находок.

Наземные и спутниковые наблюдения свидетельствуют о богатейшем разнообразии УНЧ-колебаний, диапазон которых простирается от миллигерц до нескольких герц. Известны колебания перманентные и спорадические, узкополосные и широкополосные. Колебания могут быть глобальными, региональными и локальными. Источники колебаний могут располагаться в земной коре, в атмосфере, в ионосфере, в магнитосфере, а также за пределами магнитосферы в солнечном ветре перед фронтом околоземной ударной волны. И вот, подобно тому, как в свое время Карл Линней ввел классификацию и номенклатуру растений, Валерия Троицкая задумала разработать систематику УНЧ-колебаний, чтобы упорядочить многообразие видов и форм колебаний, наблюдаемых в эксперименте [Троицкая, 1964]. Совместно с сотрудниками геофизической обсерватории «Борок» (ГО «Борок») ИФЗ АН СССР она положила морфологический принцип в основу классификации и ввела биномиальную номенклатуру. Все виды колебаний

разделены на два класса, названные сокращенно Pc (регулярные колебания, *pulsations continuous*) и Pi (иррегулярные колебания, *pulsations irregular*). Вид обозначается символом PcN ($N=1, \dots, 5$), или PiN ($N=1, 2$). Цифра N отвечает номеру поддиапазона общего диапазона ультранизких частот (подробнее об этом см. в обзорах [Troitskaya, Guglielmi, 1967; Троицкая, Гульельми, 1969] и в монографиях [Jacobs, 1970; Гульельми, Троицкая, 1973; Nishida, 1978]). Предложенная систематика была принята геофизическим сообществом. Она до сих пор широко используется в литературе, поскольку дает возможность ориентироваться в богатейшем разнообразии УНЧ-колебаний земного и космического происхождения (см., например, [Guglielmi, Pokhotelov, 1996; Kangas et al., 1998; Lundin, Guglielmi, 2006; Гульельми, 2007; Сивоконь, 2011]).

Наиболее значительные научные результаты, обогатившие знания об околоземном космическом пространстве, В.А. Троицкая и ее сотрудники получили во второй половине прошлого века. В связи с этим уместно сказать, что ни один из результатов не потерял актуальности в наши дни. Некоторые из них привели к формулировке сложных вопросов, до сих пор интересующих геофизиков. Продуктивность исследований В.А. Троицкой и возглавляемого ею научного коллектива объясняется прежде всего рациональной методической установкой. Был использован общий подход к постановке и решению задач, близкий к известному в науке системному подходу. Он характеризуется, во-первых, представлением о колебательных системах магнитосферы Земли как о целостной совокупности структурированных объектов, взаимодействующих между собой и с окружающей средой. Во-вторых, он характеризуется тем, что обнаружение эмпирических закономерностей в ходе экспериментального исследования рассматривается лишь как необходимый шаг к пониманию, т. е. в конечном счете к построению физико-математических моделей колебательных процессов.

К концу 60-х гг. прошлого века в теории колебаний $Pc3$ накопились противоречия и несоответствия. Нужно сказать, что в определенном смысле $Pc3$ — это основной вид УНЧ-колебаний. Они наблюдаются в диапазоне периодов 10–45 с на обращенной к Солнцу стороне Земли непрерывно. Считалось, что колебания представляют собой стоячие магнитозвуковые волны с узлами на магнитопаузе и на поверхности Земли. Эта общепринятая в то время точка зрения отражена во всех статьях, относящихся к предмету, а также в обзорах [Troitskaya, Guglielmi, 1967, 1969, 1970; Троицкая, Гульельми, 1969] и в монографии [Jacobs, 1970]. Другими словами, $Pc3$ рассматривались как резонансные колебания в открытом магнитозвуковом резонаторе. Однако резонансных колебаний такого рода не существует, поскольку обе отражающие границы выпуклы в одну и ту же сторону. Это внутреннее противоречие теории дополнялось несоответствием теории и наблюдений. Дело здесь в следующем. Считалось, что волны не проникают в магнитосферу из солнечного ветра, так как испытывают

полное внутреннее отражение на магнитопаузе. В соответствии с этим представлением источники $Pc3$ моделировались в виде поверхностных волн, возбужденных на магнитопаузе в результате неустойчивости Кельвина—Гельмгольца. Но максимум амплитуды $Pc3$ наблюдается в предполуденные часы, в то время как теория неустойчивости Кельвина—Гельмгольца предсказывает максимумы в утренние и в вечерние часы.

Чтобы снять противоречия, устранить несоответствия и понять происхождение $Pc3$, мы, отказавшись от представления о полном внутреннем отражении волн, падающих на магнитопаузу из солнечного ветра, выдвинули гипотезу о возбуждении $Pc3$ в области форшока, примыкающей снаружи к фронту околоземной ударной волны, и разработали тест, позволяющий проверить нашу гипотезу путем сопоставления межпланетного магнитного поля (ММП) с наземными наблюдениями $Pc3$ [Гульельми, Троицкая, 1973] (см. также [Потапов, 1974; Guglielmi, 1974]). Тест имеет вид формулы $f=gB$, где f — частота колебаний по наблюдениям на поверхности Земли, B — модуль магнитного поля по наблюдениям в межпланетной среде. Наша теория предсказывает следующее значение коэффициента связи: $g \approx 6$ мГц/нТл. Обратим внимание на особенность этой формулы: она предсказывает нелокальную связь между f и B . Другими словами, для проверки гипотезы мы должны измерить физические величины в двух точках, далеко отстоящих друг от друга. Типичный разнос составляет не менее 100 тыс. км. Результат проверки гипотезы оказался положительным. Во-первых, частота $Pc3$ действительно прямо пропорциональна величине ММП. Во-вторых, измеренный коэффициент пропорциональности $g=5.8 \pm 0.3$ мГц/нТл почти совпал с теоретической оценкой $g \approx 6$ мГц/нТл.

Представление о немагнитосферном происхождении $Pc3$ вызвало интерес геофизического сообщества в стране и за рубежом. Идея сразу была подхвачена, приобрела популярность, породила обширную литературу и вызвала дискуссии, не утихавшие до конца 80-х гг. прошлого века. Об остроте полемики и полярности взглядов свидетельствует, например, монография [Nishida, 1978]. Ее автор — известный магнитолог Атсухиро Нишида был решительным противником нашей теории. В связи с этим нужно сказать, что в настоящее время теория немагнитосферного происхождения $Pc3$ считается общепринятой.

Не только Земля, но и другие планеты Солнечной системы обладают достаточно мощным магнитным полем. Понятно, что и у них существуют волновые структуры, подобные $Pc3$. В работе [Russell, Норре, 1983] найдена зависимость f от B по совокупности измерений на космических аппаратах перед фронтами магнитосфер Меркурия, Венеры, Земли и Юпитера. Оказалось, что с точностью до ошибок измерений данные ложатся на прямую $f=gB$, причем g близко к значению 5.8 мГц/нТл. Другими словами, получилась та же зависимость, которая была предсказана нами теоретически, а затем обоснована экспериментально по наблюдениям $Pc3$ в ГО «Борок» ИФЗ АН СССР. Это удивительный результат. Условия обтекания планет солнечным ветром силь-

но различаются. Так, радиус кривизны фронта ударной волны у Меркурия — 0.5, а у Юпитера — 500 (в радиусах Земли). Средний угол между направлением потока солнечной плазмы и силовыми линиями ММП увеличивается от 20° у Меркурия до 80° у Юпитера. Существенно изменяются от планеты к планете концентрация плазмы и величина ММП. Тем не менее, коэффициент g по наблюдениям в окрестностях планет тот же, что и по наблюдениям Pc3 на Земле. Таким образом, коэффициент связи g универсален в том смысле, что он относительно стабилен в исключительно широком диапазоне изменения параметров обтекания планет солнечным ветром.

Воодушевленная успехом интерпретации Pc3, Валерия Алексеевна однажды, вернувшись с международной конференции, обратилась к нам с вопросом: не могут ли не только Pc3, которые возбуждаются непосредственно перед фронтом магнитосферы, но и магнитогидродинамические волны, возбужденные на Солнце, проникать в магнитосферу и давать вклад в наблюдаемый на Земле спектр УНЧ-колебаний? По ее словам, вопрос зародился у нее после дискуссии на международной конференции. В ходе той дискуссии известный космофизик Томас Голд высказал гипотезу о существовании специфических «солнечных свистов» (solar whistlers), которые возбуждаются при солнечных вспышках и распространяются вдоль силовых линий ММП подобно тому, как свистящие атмосферники возбуждаются при молниевых разрядах и распространяются вдоль геомагнитных силовых линий.

Поставленная перед нами задача была интересной, но оказалась исключительно трудной. Исходя из общих представлений о конфигурации магнитосферы и о вероятных путях проникновения волн из межпланетной среды в магнитосферу, мы начали поиски с тщательного анализа УНЧ-колебаний в полярных шапках. Такая возможность представилась благодаря тому, что в период Международного геофизического года (1957–1958) под руководством проф. В.А. Троицкой была обеспечена запись УНЧ-колебаний на станциях, расположенных в различных регионах планеты, в том числе в Арктике и Антарктике [Troitskaya, 1961]. В этом проявился незаурядный организаторский талант Валерии Алексеевны.

Вскоре после начала поисков ответа на вопрос В.А. Троицкой мы обнаружили на ст. «Восток», расположенной в Антарктиде, неизвестную до того разновидность колебаний в диапазоне Pc1–2 (0.1–5 Гц) [Guglielmi, Dovbnya, 1974]. Было предложено называть их «серпентинной эмиссией» (serpentine emission, сокращенно SE), поскольку динамический спектр колебаний отдаленно напоминает ползущую змею (рис. 1). Необычное свойство SE, косвенно указывающее на немагнитосферное происхождение, состоит в том, что колебания испытывают глубокую частотную модуляцию. Важной особенностью SE является и то, что колебания наблюдаются в исключительно спокойных геомагнитных условиях: типичное значение геомагнитного индекса $K_p=1$ (подробнее морфология SE описана в работах [Troitskaya, 1979; Fraser-Smith, 1982; Asheim, 1983; Morris, Cole, 1986, 1987]).

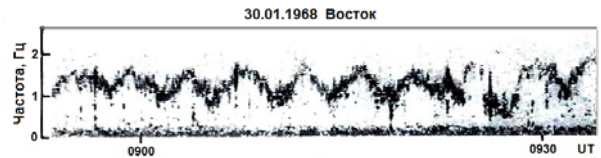


Рис. 1. Динамический спектр колебаний Pc1 с глубокой модуляцией несущей частоты [Guglielmi et al., 2015]

В работе [Guglielmi et al., 2015] приведены аргументы в пользу того, что колебания SE постоянно существуют в солнечном ветре, где они самовозбуждаются в результате ионно-циклотронной неустойчивости плазмы, а частотная модуляция SE возникает под влиянием волн Альфвена, испущенных Солнцем. Любопытно, что характерный период частотной модуляции SE равен пяти минутам (см., например, рис. 1). И эта величина совпадает с характерным периодом колебаний солнечной поверхности, известным по данным гелиосейсмологии [Ulrich, 1970]. Возникает вопрос: не удалось ли нам обнаружить в ледяных просторах Антарктиды следы колебаний раскаленной поверхности Солнца? Валерии Алексеевны, мы уверены, понравилась бы эта идея.

Итак, если принять точку зрения, предложенную в работе [Guglielmi et al., 2015], то SE представляет собой ионно-циклотронную волну, модулированную по частоте волной Альфвена солнечного происхождения. Мы попытались обнаружить модулирующую волну, используя данные регистрации УНЧ-колебаний. С учетом свойств SE мы искали редкую разновидность колебаний Pc5, которые наблюдались бы при очень спокойных геомагнитных условиях (напомним, что Pc5 наблюдаются обычно во время геомагнитных бурь). Предварительный результат поиска обнадеживает. Подходящим кандидатом оказалась так называемые *big magnetic pulses* (BMP), которые спорадически возникают в высоких широтах на спокойном магнитном фоне и представляют собой изолированные магнитные импульсы большой амплитуды. Краткое описание морфологии BMP дано, например, в работе [Зотов и др., 2013]. В этой же работе можно найти ссылки на соответствующую литературу. Рисунок 2 дает представление о BMP. Колебания зарегистрированы в антарктической обсерватории «Мирный». Обратим внимание на два важных для нас обстоятельства. Во-первых, мощные УНЧ-колебания наблюдаются при весьма низкой геомагнитной активности, и, во-вторых, период колебаний близок к пяти минутам.

В ГО «Борок» ИФЗ РАН хранится богатейший архив УНЧ-колебаний, которые были зарегистрированы в obs. «Мирный» во время антарктических экспедиций, организованных В.А. Троицкой. Мы благодарны Б.И. Клайну за любезное разрешение использовать в нашей работе данные о BMP, извлеченные из этого архива. Предварительный результат обработки данных, накопленных с 1988 по 1995 г., представлен на рис. 3. Мы видим довольно компактное распределение BMP по периодам. В половине всех событий период колебаний изменялся от случая к случаю в интервале от 4 до 5.4 мин. Среднее значение периода равно 4.8 мин, т. е. довольно близко

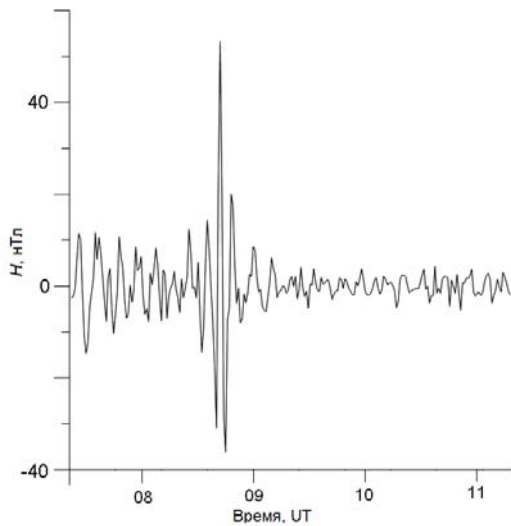


Рис. 2. УНЧ-колебания в диапазоне Pc5, зарегистрированные на обс. «Мирный» 04.01.1988 в весьма спокойных геомагнитных условиях: $K_p=1$ [Зотов и др., 2013]

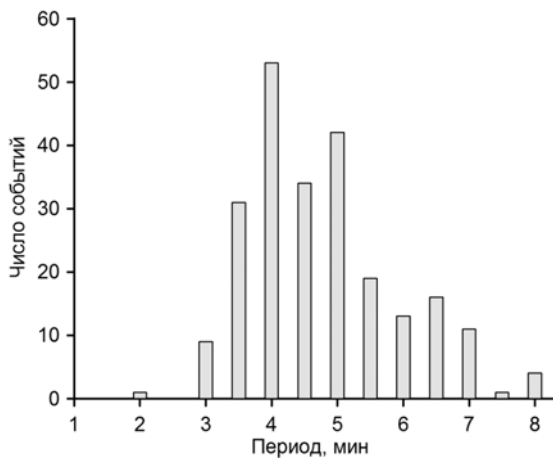


Рис. 3. Распределение ВМР по периодам колебаний

к периоду колебаний фотосферы Солнца. Пока что трудно сказать, удалось ли нам обнаружить на Земле волны Альфвена, возбужденные на Солнце. Однако есть одно обнадеживающее обстоятельство: волны Альфвена со средним периодом 4.75 мин, генетически связанные с колебаниями Солнца, обнаружены недавно в межпланетной среде в окрестности Земли [Potapov et al., 2013].

Характер и объем данной статьи не позволил нам сколько-нибудь полно изложить научные достижения профессора В.А. Троицкой. Мы сосредоточили внимание лишь на одной проблеме — на поиске источников УНЧ-колебаний за пределами магнитосферы Земли. Различные аспекты этой проблемы живо интересовали В.А. Троицкую. В этом сказались ее пророческая прозорливость. И мы благодарны судьбе, которая сложилась так, что в свое время нам посчастливилось под руководством В.А. Троицкой начать исследования в этом направлении.

Валерия Алексеевна была незаурядной личностью. Увлеченная наукой, великая труженица, она умела дать почувствовать каждому сотруднику, что и его работа интересна, полезна и необходима. Удивительный человек. С ней было интересно. Мы помним то время, когда были еще начинающими исследователями, а она уже известным профессо-

ром. И она оживленно обсуждала с нами особую привлекательность ультранизкочастотных геоэлектромагнитных колебаний. Не связана ли эта привлекательность с неким особенным свойством их пространственно-временной структуры? Невидимые и неслышимые, не воздействуют ли они на наше подсознание подобно тому, как на нас воздействуют шелест листвы в густом лесу, океанские волны или мерцание звезд? Ведь все живое на Земле на протяжении миллиардов лет испытывало на себе пусть малое, но постоянное влияние геоэлектромагнитных колебаний. Вопросы такого рода время от времени возникают, и каждый может иметь то или иное мнение на этот счет, но убедительного ответа пока что не знает никто.

Мы благодарны нашим коллегам Б.В. Довбне, Н.А. Золотухиной, О.Д. Зотову, А.Л. Калишер, Й. Кангасу, Б.И. Клайну, Р. Лундину, Э.Т. Матвеевой, К. Мурсуле, В.А. Пархомову, О.А. Похотелову, В.Ф. Рубану, М.Г. Савину, И.О. Солнцевоу, И.В. Стерликовой, Ф.З. Фейгину за то, что они в разные годы делились с нами своими воспоминаниями о Валерии Алексеевне Троицкой. Все мы, как и многие другие, были ее учениками и преданными друзьями. Работа выполнена при финансовой поддержке Программы 15 Президиума РАН и проектов РФФИ 16-05-00056 и 16-05-00631.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

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

Зотов О.Д., Гульельми А.В., Собисевич А.Л. О магнитных предвестниках землетрясений // Физика Земли. 2013. № 6. С. 139–147.

Потапов А.С. Возбуждение геомагнитных пульсаций типа Pc3 перед фронтом околосолнечной ударной волны пучком отраженных протонов // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. 1974. Вып. 34. С. 3–12.

Сивоконь В.П. Электромагнитные колебания в ионосферно-магнитосферном контуре // Геомагнетизм и аэронаука. 2011. Т. 51, № 4. С. 520–526.

Троицкая В.А. Классификация быстрых вариаций магнитного поля и земных токов // Геомагнетизм и аэронаука. 1964. Т. 4, № 3. С. 615–616.

Троицкая В.А., Гульельми А.В. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы // УФН. 1969. Т. 97, вып. 3. С. 453–494.

Asheim S. Serpentine emissions in the polar magnetic field // Inst. of Physics Rep. Ser. University of Oslo, 1983. Rep. 83–38. 23 p.

Fraser-Smith A.C. ULF/lower-ELF electromagnetic field measurements in the polar caps // Rev. Geophys. Space Phys. 1982. V. 20. P. 497–512. DOI: 10.1029/RG020i003p00497.

Guglielmi A. Diagnostics of the magnetosphere and interplanetary medium by means of pulsations // Space Sci. Rev. 1974. V. 16, N 3. P. 331–345.

Guglielmi A.V., Dovbnya B.V. Hydromagnetic emission of the interplanetary plasma // Astrophys. Space Sci. 1974. V. 31. P. 11–29.

Guglielmi A.V., Pokhotelov O.A. Geoelectromagnetic Waves. Bristol and Philadelphia: IOP Publ. Ltd, 1996. 402 p.

Guglielmi A., Potapov A., Dovbnya B. 5-minute solar oscillations and ion cyclotron waves in the solar wind // Solar Phys. 2015. V. 290, N 10. P. 3023–3032. DOI: 10.1007/s11207-015-0772-2.

Jacobs J.A. *Geomagnetic Micropulsations*. New York; Heidelberg; Berlin: Springer-Verlag, 1970. 179 p.

Kangas J., Guglielmi A., Pokhotelov O. Morphology and physics of short-period magnetic pulsations (A Review) // *Space Sci. Rev.* 1998. V. 83. P. 435–512.

Lundin R., Guglielmi A. Ponderomotive forces in cosmos // *Space Sci. Rev.* 2006. V. 127. P. 1–116.

Morris R.J., Cole K.D. "Serpentine emission" at the high latitude station Davis (17–23 September 1981) // *Exploration Geophys.* 1986. V. 17. P. 15. DOI: 10.1071/EG986015.

Morris R.J., Cole K.D. "Serpentine emission" at the high latitude antarctic station, Davis // *Planet. Space Sci.* 1987. V. 35. P. 313–328. DOI: 10.1016/0032-0633(87)90158-9.

Nishida A. *Geomagnetic Diagnosis of the Magnetosphere*. New York; Heidelberg; Berlin: Springer-Verlag, 1978. 256 p.

Potapov A.S., Polyushkina T.N., Pulyaev V.A. Observations of ULF waves in the solar corona and in the solar wind at the Earth's orbit // *J. Atmosph. Solar-Terrestrial Phys.* 2013. V. 102. P. 235–242.

Russell C.T., Hoppe M.M. Upstream waves and particles // *Space Sci. Rev.* 1983. V. 34, N 2. P. 115–172.

Troitskaya V.A. Pulsations of the Earth's electromagnetic field with periods of 1 to 15 seconds and their connection with phenomena in the high atmosphere // *J. Geophys. Res.* 1961. V. 66, N 1. P. 5–18.

Troitskaya V.A. Geomagnetic pulsations in the polar cap // *Magnetospheric Study: Proc. Int. Workshop on Select. Topics of Magnetospheric Phys. / Japanese IMS Comm. Tokyo, 1979*. P. 121–123.

Troitskaya V.A., Guglielmi A.V. Geomagnetic micropulsations and diagnostics of the magnetosphere // *Space Sci. Rev.* 1967. V. 7, N 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*. Dordrecht: 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, N 4. P. 893–902.

Ulrich R.K. The five-minute oscillations on the solar surface // *Astrophys. J.* 1970. V. 162. P. 993–1002.

REFERENCES

Asheim S. Serpentine emissions in the polar magnetic field. *Inst. of Physics Rep. Ser.* University of Oslo, 1983. Rep. 83–38. 23 p.

Fraser-Smith A.C. ULF/lower-ELF electromagnetic field measurements in the polar caps. *Rev. Geophys. Space Phys.* 1982, vol. 20, pp. 497–512. DOI: 10.1029/RG020i003p00497.

Guglielmi A. Diagnostics of the magnetosphere and interplanetary medium by means of pulsations. *Space Sci. Rev.* 1974, vol. 16, no. 3, pp. 331–345.

Guglielmi A.V. Ultra-low-frequency electromagnetic waves in the Earth's crust and magnetosphere. *Physics-Uspokhi*. 2007, vol. 50, no. 12, pp. 1197–1216.

Guglielmi A.V., Dovbnya B.V. Hydromagnetic emission of the interplanetary plasma. *Astrophys. Space Sci.* 1974, vol. 31, pp. 11–29.

Guglielmi A.V., Pokhotelov O.A. *Geoelectromagnetic Waves*. Bristol and Philadelphia, IOP Publ. Ltd, 1996, 402 p.

Guglielmi A.V., Troitskaya V.A. *Geomagnitnye pulsatsii i diagnostika magnitosfery* [Geomagnetic Pulsations and Diagnostics of the Magnetosphere]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 208 p. (In Russian).

Guglielmi A., Potapov A., Dovbnya B. 5-minute solar oscillations and ion cyclotron waves in the solar wind. *Solar Phys.* 2015, vol. 290, no. 10, pp. 3023–3032. DOI: 10.1007/s11207-015-0772-2.

Jacobs J.A. *Geomagnetic Micropulsations*. New York, Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag, 1970, 179 p.

Kangas J., Guglielmi A., Pokhotelov O. Morphology and physics of short-period magnetic pulsations (A Review). *Space Sci. Rev.* 1998, vol. 83, pp. 435–512.

Lundin R., Guglielmi A. Ponderomotive forces in cosmos. *Space Sci. Rev.* 2006, vol. 127, pp. 1–116.

Morris R.J., Cole K.D. "Serpentine emission" at the high latitude station Davis (17–23 September 1981). *Exploration Geophys.* 1986, vol. 17, p. 15. DOI: 10.1071/EG986015.

Morris R.J., Cole K.D. "Serpentine emission" at the high latitude antarctic station, Davis. *Planet. Space Sci.* 1987, vol. 35, pp. 313–328. DOI: 10.1016/0032-0633(87)90158-9.

Nishida A. *Geomagnetic Diagnosis of the Magnetosphere*. New York, Heidelberg, Berlin, Springer-Verlag, 1978, 256 p.

Potapov A.S. Excitation of Pc3 geomagnetic pulsations in front of the Earth's bow shock by a reflected protons beam. *Issledovaniya po geomagnetizmu, aeronomii i fizike Solntsa* [Research on Geomagnetism, Aeronomy and Solar Physics]. 1974, iss. 34, pp. 3–12. (In Russian).

Potapov A.S., Polyushkina T.N., Pulyaev V.A. Observations of ULF waves in the solar corona and in the solar wind at the Earth's orbit. *J. Atmosph. Solar-Terrestrial Phys.* 2013, vol. 102, pp. 235–242.

Russell C.T., Hoppe M.M. Upstream waves and particles. *Space Sci. Rev.* 1983, vol. 34, no. 2, pp. 115–172.

Sivokon' V. P. Electromagnetic fluctuations in the ionospheric-magnetospheric circuit. *Geomagnetism and Aeronomy*. 2011, vol. 51, no. 4, pp. 513–519.

Troitskaya V.A. Pulsations of the Earth's electromagnetic field with periods of 1 to 15 seconds and their connection with phenomena in the high atmosphere. *J. Geophys. Res.* 1961, vol. 66, no. 1, pp. 5–18.

Troitskaya V.A. Classification of rapid pulsations of the magnetic field and Earth currents. *Geomagnetism and Aeronomy*. 1964, vol. 4, pp. 490–495.

Troitskaya V.A. Geomagnetic pulsations in the polar cap. *Magnetospheric Study: Proc. Int. Workshop on Select. Topics of Magnetospheric Phys.* Tokyo, 1979, pp. 121–123.

Troitskaya V.A., Guglielmi A.V. Geomagnetic micropulsations and diagnostics of the magnetosphere. *Space Sci. Rev.* 1967, vol. 7, no. 5/6, pp. 689–769.

Troitskaya V.A., Guglielmi A.V. Geomagnetic pulsations and diagnostics of the magnetosphere. *Soviet Physics. Uspokhi*. 1969a, vol. 12, no. 2, pp. 195–218.

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*. Dordrecht, D. Reidel Publ. Co, 1969b, pp. 120–136.

Troitskaya, V.A., Guglielmi A.V. Hydromagnetic diagnostics of plasma in the magnetosphere. *Ann. Geophys.* 1970, vol. 26, no. 4, pp. 893–902.

Ulrich R.K. The five-minute oscillations on the solar surface. *Astrophys. J.* 1970, vol. 162, pp. 993–1002.

Zotov O.D., Guglielmi A.V., Sobisevich A.L. On magnetic precursors of earthquakes. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2013, vol. 49, no. 6, pp. 882–889.

Цветной рисунок доступен в электронной версии статьи.

Как цитировать эту статью

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.

How to cite this article

Guglielmi A.V., Potapov A.S. Waves from the Sun: to the 100th anniversary of V.A. Troitskaya's birth. *Solar-Terrestrial Physics*. 2017. Vol. 3, iss. 3. P. 95–99.