

Геомагнитные наблюдения на станции Восток советских Антарктических экспедиций: научная проблематика и архив данных

В. А. Пилипенко^{1,2}, Б. В. Довбня³, В. А. Мартинес-Беденко¹ и М. Н. Добровольский²

Получено 7 ноября 2020 г.; принято 8 декабря 2020 г.; опубликовано 13 декабря 2020 г.

Нами оцифрованы и выложены в свободный доступ аналоговые магнитные записи советских Антарктических экспедиций на станцию Восток с 1967 по 1971 гг. Несмотря на развертывание в последние годы в Антарктиде нескольких обсерваторий и автоматических станций в полярной шапке, наблюдения вблизи геомагнитного полюса на станции Восток высокочувствительным индукционным магнитометром с частотой регистрации 20 Гц остаются уникальными. Эти данные позволяют изучать природу специфических импульсных и волновых электродинамических возмущений в полярной шапке и их связи с динамическими процессами в околоземном пространстве. Приведены примеры сигналов и излучений в полярной шапке, впервые зарегистрированные на станции Восток: квазимонохроматические P_{c1} пульсации, серпентинная эмиссия, дискретные широкополосные всплески P_{i1B}, P_{c3-4} пульсации. Предлагаемая база данных будет способствовать увеличению российского участия в исследованиях по проявлениям космической погоды в Антарктике. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** антарктида; магнитометр; геомагнитные пульсации; полярная шапка; станция восток.

Ссылка: Пилипенко, В. А., Б. В. Довбня, В. А. Мартинес-Беденко и М. Н. Добровольский (2020), Геомагнитные наблюдения на станции Восток советских Антарктических экспедиций: научная проблематика и архив данных, *Вестник ОНЗ РАН*, 12, NZ4003, doi:10.2205/2020NZ000366.

Введение: геомагнитные наблюдения в высоких широтах – основа космической геофизики

Исследования околоземного космического пространства приобретают всю большую важность для современного технологичного общества, при этом наземные магнитные наблюдения продол-

жают играть фундаментальную роль в исследованиях различных явлений в геокосмосе. Изучение наземных проявлений динамики околоземной среды и экстремальных явлений космической погоды не только исключительно важно для решения фундаментальных задач физики космической плазмы, но и имеет актуальное прикладное значение, связанное с устойчивой работой навигационных систем в полярных широтах.

В прошедшем веке пионерские работы в Арктике и Антарктике принесли мировую известность советской геофизике. Научные коллективы СССР имели ведущие позиции в исследовании геомагнитных возмущений на очень высоких широтах, используя наблюдения на станциях в Антарктиде (Восток, Мирный, Комсомольская и Молодежная) и на дрейфующих станциях

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

²Геофизический центр РАН, Москва, Россия

³Геофизическая обсерватория “БОРОК” ИФЗ РАН, Борок, Россия

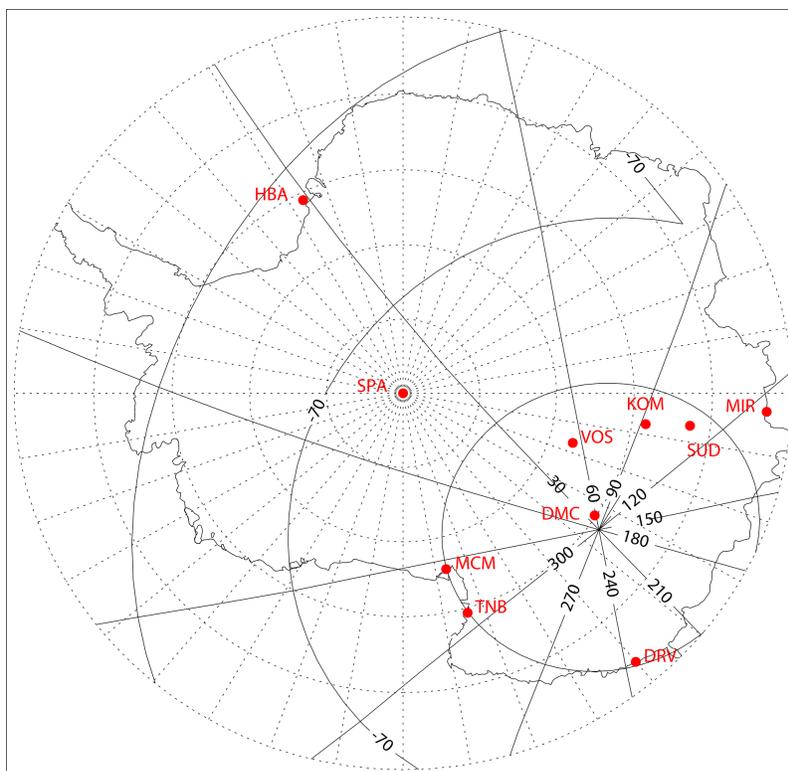


Рис. 1. Положение основных национальных магнитных обсерваторий в Антарктиде, включая советские станции VOS, KOM, MIR, SUD. Пунктирными линиями показана сетка географических координат, сплошными – геомагнитных.

СП в Арктике. Положение советских антарктических станций и основных обсерваторий других стран показано на Рис. 1. Многие результаты ранних работ были позже воспроизведены западными исследователями, а некоторые до сих пор остаются «непероткрытыми». Однако в нынешнем столетии, особенно в области солнечно-земной физики и космической погоды на очень высоких широтах, ведущие позиции российской геофизики в мире оказались в значительной мере утраченными. В Антарктиде осталась единственная станция Восток, где ведутся непрерывные геомагнитные наблюдения с низким временным разрешением (1 мин), в Арктике таких станций лишь немногим больше, что значительно уступает по масштабам сетям геомагнитных станций США, Канады, Китая, Японии, и др. В целом научная отдача отечественных геомагнитных высокоширотных наблюдений крайне мала (менее 1% от числа публикаций по этой теме в международных научных журналах). В значительной степени это объясняется тем, что в геофизике «время великих географических открытий» прошло, и с данными только отдельной

станции крайне маловероятно получить принципиально новые результаты. В современной геофизике наблюдается переход к средствам анализа данных высокого уровня: глобальные индексы, 2D карты возмущенности, и др. Для полярных широт таких возможностей пока нет, что объясняется редкостью национальных станций.

Для бурно развивающихся в последнее десятилетие исследований по космическому климату (долговременные изменения солнечной активности и ее влияния на атмосферу Земли) и космической погоды исключительную важность имеют длительные непрерывные геомагнитные наблюдения. Данные советских магнитных станций в Антарктиде могли бы внести заметный вклад в эти исследования, но эти материалы были недоступны большинству исследователей, т.к. были получены на существовавших тогда средствах регистрации – аналоговой записи на магнитной ленте. Сотрудниками Геофизической обсерватории «Борок» ИФЗ РАН проведена трудоемкая работа по оцифровке архива данных регистрации короткопериодных вариаций геомагнитного поля, полученных советскими экспеди-

циями в Антарктике на станции Восток. В данной заметке приведены примеры специфических сигналов и излучений в полярной шапке, впервые зарегистрированных на станции Восток, даны общие сведения о стоящих перед исследователями полярных регионов задачах, и описан созданный архив цифровых данных станции Восток.

Южная полярная шапка: новый мир УНЧ волн и транзиентов

Передача энергии солнечного ветра в магнитосферу тесно связана с нестационарными и турбулентными процессами в пограничных областях. Существование естественных МГД волноводов и резонаторов в околоземной плазме приводит к квазипериодическому отклику в ультра-низкочастотном (УНЧ) диапазоне (от нескольких мГц до первых Гц) на внешнее воздействие, который может переноситься вдоль силовых линий магнитосферного магнитного поля к высоким широтам. Это дает возможность изучать процессы, развивающиеся в пограничных слоях при взаимодействии магнитосферы с солнечным ветром, с помощью сетевых наземных наблюдений УНЧ вариаций. При этом обеспечивается лучшее, по сравнению со спутниковыми экспериментами, пространственное разрешение и регулярность наблюдений. Несмотря на экстремальные метеоусловия, Антарктида представляет уникальные возможности для космической геофизики: покрытие от субавроральных широт до полярной шапки, отсутствие промышленных и грозовых помех.

Неоднократно подчеркивалась важная роль электродинамики полярной шапки и каспа для понимания процесса переноса энергии от солнечного ветра в магнитосферу и ионосферу. По данным полярных станций Восток (Антарктида) и Thule (Гренландия) регулярно рассчитывается РС-индекс, характеризующий интенсивность трансполярного тока (<http://pcindex.org>). Особое значение РС-индекса в том, что его рост на 1–2 часа предвещает начало суббури [Troshichev and Janzura, 2012]. Представления же о проявлениях космической погоды в полярных областях на меньших временных интервалах (диапазон УНЧ) развиты значительно меньше, чем пред-

ставления о глобальной электродинамике полярной шапки. Даже морфологические особенности волновых процессов в полярных шапках остаются слабо изученными. Только с появлением технических возможностей для длительной автономной цифровой регистрации с высоким временным разрешением и большим динамическим диапазоном на сети автоматических станций в Антарктике стало возможным провести детальный анализ УНЧ волн в полярной шапке и их роли в общей электродинамике полярных областей. Однако, до настоящего времени эти возможности полностью не реализованы.

Детальные недавние исследования полярной ионосферы с использованием антарктических радаров SuperDARN обнаружили существование квазипериодических флуктуаций ионосферы с периодичностью в полосе периодов РС5 пульсаций [Bland and McDonald, 2016]. Возможно, что некоторая часть этих периодических колебаний связана с модуляцией ионосферы геомагнитными пульсациями полярной шапки в полосе РС5–6. Эти глобальные полярные пульсации, названные *Pi_{cap3}*, были обнаружены в работе [Yagova et al., 2004]. Механизм квазипериодических флуктуаций ионосферы в полярных областях пока остается невыясненным.

Принципиальным вопросом высокоширотных исследований остается возможность существования специфических возмущений в полярной шапке, механизмы возбуждения которых отличны от механизмов на авроральных и средних широтах [Pilipenko and Engebretson, 2002]. Впервые положительный ответ на этот вопрос был получен благодаря наблюдениям на станции Восток.

Наблюдения электромагнитных излучений герцового диапазона на станции Восток

Несмотря на существенное расширение сети магнитных станций в Антарктиде, наблюдения, проведенные советскими специалистами (в первую очередь следует вспомнить сотрудника ИФЗ РАН Л. Н. Баранского), остаются уникальными. В период проведения экспериментов (с 1967 г.) южный геомагнитный полюс находился ближе всего к станции Восток (географические координаты 78,46° ЮШ, 106,82° ВД). С тех пор дрейф

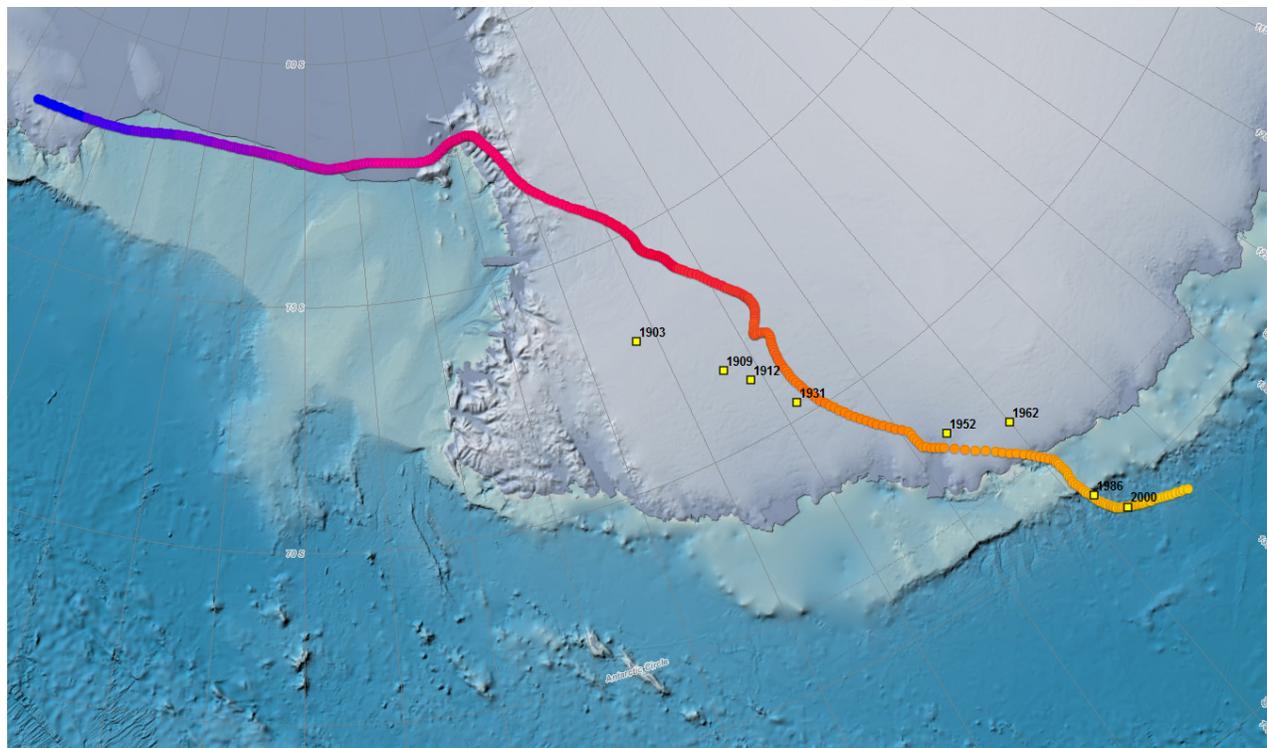


Рис. 2. Дрейф южного геомагнитного полюса.

геомагнитных полюсов привел к тому, что положение южного геомагнитного полюса сместилось в океан (Рис. 2). Южный геомагнитный полюс смещается со скоростью 10–15 км в год, несколько медленнее, чем северный геомагнитный полюс. Расстояние между южными географическим и геомагнитным полюсами сейчас составляет около 2860 км. В настоящее время ближе всего к южному геомагнитному полюсу находится итало-французская станция Dome-C. На ней ведутся геомагнитные наблюдения, но чувствительность и частота опроса аппаратуры позволяют регистрировать только излучения диапазона Pc3-5 (периоды более 10–20 с). Поэтому наблюдения с высокочувствительным индукционным магнитометром и высокой частотой регистрации (20 Гц) непосредственно вблизи геомагнитного полюса, в глубине полярной шапки, остаются уникальными. Благодаря таким уникальным возможностям, на станции Восток были обнаружены новые, ранее неизвестные, типы излучений межпланетной среды.

Серпентинная эмиссия. Серпентинная эмиссия (SE) – квазинепрерывные геомагнитные

пульсации, которые наблюдаются в области полярной шапки в спокойной и умеренной геомагнитной обстановке. На Рис. 3 показан пример сонограммы SE 19 апреля 1968 г. Эти излучения длятся часами, а иногда и сутками (см. пример на Рис. 4 для 20–21 апреля 1968 г.). Основное свойство этого излучения определяется глубокой модуляцией несущей частоты, изменяющейся на 1–2 октавы в диапазоне частот от 0,01 до 5 Гц. Излучение было обнаружено в 70-е годы прошлого столетия в Антарктиде на станции Восток [Гульельми и Довбня, 1973, 1974]. В то же время на Антарктической станции Мирный на более низкой геомагнитной широте с той же аппаратурой SE не наблюдалась. Характерные свойства SE позволили предположить, что частотно-модулированные колебания проникают в полярные шапки из межпланетной среды, где они возбуждаются в виде ионно-циклотронных волн в результате неустойчивости плазмы с анизотропным распределением ионов по скоростям [Гульельми и др., 1975]. В дальнейшем эмиссия была также зарегистрирована на станции Davis [Morris and Cole, 1987]. Одна из особенностей SE состоит в том, что в ее спектре часто присут-

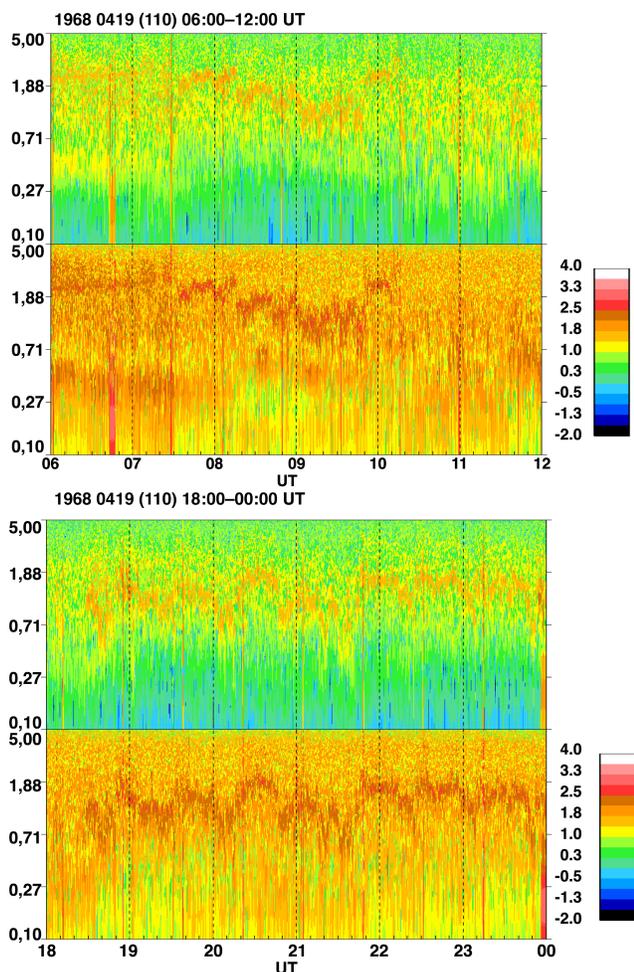


Рис. 3. Пример сонограммы в частотном диапазоне 0,1–5,0 Гц (горизонтальные X и Y компоненты) серпентинной эмиссии (SE) зарегистрированной на станции Восток 19 апр. 1968 г. (день 110) в интервалах времени 06–12 UT (верхняя панель) и 18–24 UT (нижняя панель).

ствует устойчивая, длящаяся несколько часов, 5-минутная модуляция несущей частоты. Факт совпадения периода обнаруженной в спектре SE частотной модуляции с 5-минутным периодом, характерным для колебаний фотосферы Солнца [Довбня и Потапов, 2018], по мнению авторов, свидетельствует о существовании генетической связи частотной модуляции эмиссии с пульсациями солнечной поверхности.

В межпланетной анизотропной плазме конечного давления с $\beta \sim 1$ и $T_{\parallel} > T_{\perp}$ колебания возбуждаются в результате ионно-циклотронной неустойчивости на частоте близкой к гирочастоте протонов $\omega' \sim \Omega$, и распространяются вдоль

силовых линий межпланетного магнитного поля (ММП) \mathbf{B} . Вследствие эффекта Доплера наземный наблюдатель регистрирует частоту $\omega = \mathbf{k}\mathbf{U} + \omega'$, где \mathbf{U} – скорость солнечного ветра перед фронтом магнитосферы, \mathbf{k} – волновой вектор [Гульельми и Довбня, 1973, 1974]. Доплеровский сдвиг частоты является сильным ($\mathbf{k}\mathbf{U} \gg \omega'$), так что приближенно имеем

$$\omega \sim \mathbf{k}\mathbf{U} \sim (U/\lambda_p) \cos \psi. \quad (1)$$

Здесь ψ – угол между векторами \mathbf{U} и \mathbf{B} , λ_p – плазменная длина. Частота, оцененная по формуле (1), изменяется от нескольких Герц до нуля при изменении ψ от 0 до $\pi/2$. Вариации этого угла и обуславливают флуктуации частоты SE.

Дискретные Pi1B сигналы. В полярной шапке на станции Восток периодически наблюдались короткие дискретные широкополосные сигналы, которые по своим спектральным особенностям могут быть отнесены к Pi1B пульсациям [Potapov et al., 2020]. Пример этого сигнала приведен на Рис. 5, взятом из работы [Гульельми и др., 2019]. Наибольшая частота наблюдения этих сигналов приходится на летний сезон и на локальный магнитный полдень (для Востока разница между географическим местным временем и магнитным локальным временем составляет около 8 часов). Источником этих дискретных сигналов могут быть многочисленные импульсные процессы в форшоковой области магнитосферы или магнитослое.

Pc1 излучения. Интенсивность ионно-циклотронных (ИЦ) волн в магнитосфере является важным параметром космической погоды, поскольку она предположительно определяет время жизни релятивистских электронных потоков во внешнем радиационном поясе и потоков протонов в кольцевом токе. В какой степени наземные наблюдения могут быть использованы для характеристики активности ИЦ волн в магнитосфере пока неизвестно, поскольку распространение этих волн из области генерации в ионосферу и прохождение через ионосферу к Земле являются сложными и недостаточно смоделированными процессами. ИЦ волны в полосе частот Pc1, падающие на ионосферу, частично достигают Земли, возбуждают ионосферный альвеновский резонатор (ИАР), и преобразуются в волноводные моды ионосферного магнитозвуково-

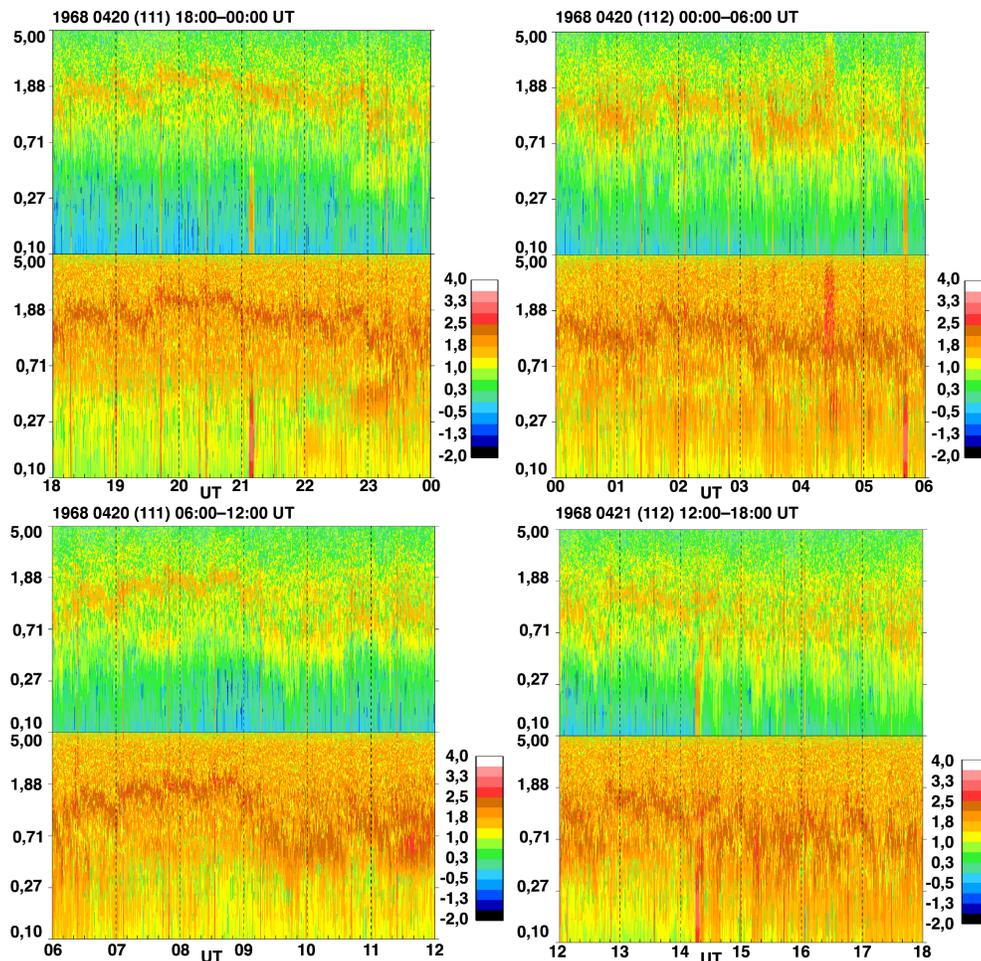


Рис. 4. Пример сонограмм серпентинной эмиссии SE зарегистрированной на станции Восток 20 апреля 1968 г. (левая панель) и 21 апреля 1968 г. (правая панель).

го волновода [Fedorov et al., 2018]. Распространение Pc1 волн от авроральных широт к средним и низким к настоящему времени достаточно хорошо изучено. Однако возможность распространения этих возмущений вглубь полярной шапки практически не исследовалась. Впервые подтверждением возможности трансполярного распространения Pc1 волн является регистрация пакетов Pc1 излучений на станции Восток (Рис. 6).

Pc3-4 пульсации. Пульсации частотного диапазона Pc3-4 – наиболее распространенный тип УНЧ волн в околоземном пространстве. На средних широтах их можно наблюдать практически каждые сутки в дневное время. Считается, что их первичным источником является турбулентная область (форшок) перед магнитосфер-

ной отошедшей ударной волной. Форшок образуется благодаря кинетическому эффекту, связанному с ИЦ неустойчивостью протонов, отражающихся от фронта отошедшей ударной волны. Согласно теории ИЦ неустойчивости, условия возникновения и основная частота пульсаций определяются величиной и ориентацией ММП. Соотношение между частотой волны и величиной ММП, полученное элементарной комбинацией резонансного условия и дисперсионного уравнения, дает соотношение $f(\text{МГц}) = g\mathbf{V}(\text{нТл})$, где коэффициент $g=5,8$ МГц/нТл [Гульельми, 1988]. Турбулентность генерируется преимущественно в области квазипараллельного фронта ударной волны, где конусный угол, определяемый соотношением $\cos\theta = |\mathbf{V}_X/\mathbf{V}|$ мал. При соблюдении этого условия, область квазипараллельной ударной волны и отраженные от фронта прото-

ны солнечного ветра почти целиком покрывают дневную сторону магнитосферы.

Широкополосные возмущения, проникающие в магнитосферу из переходной области в районе магнитосферного экватора, могут возбуждать альвеновские колебания силовых линий. Эта резонансная трансформация действует как природный полосовой фильтр, который и дает на выходе узкополосные сигналы, наблюдаемые на Земле. Наблюдения на низких и средних широтах подтвердили этот механизм фильтрации/усиления. Касп (или более строго – дневные пограничные слои магнитосферы) также является источником высокоширотных пульсаций диапазона Pc3-4 [Большакова и Троицкая, 1984]. Физический механизм формирования касповых Pc3 сигналов окончательно не выяснен, т.к. применение механизма резонансной трансформации в этой области сталкивается с трудностями [Федоров и др., 1998]. Отсутствие сопряженности пульсаций диапазона Pc3 в районе дневного каспа также подводит к выводу, что эти колебания не связаны с возбуждением резонансов силовых линий.

Существование Pc3 пульсаций на более высоких широтах, в области полярной шапки, бы-

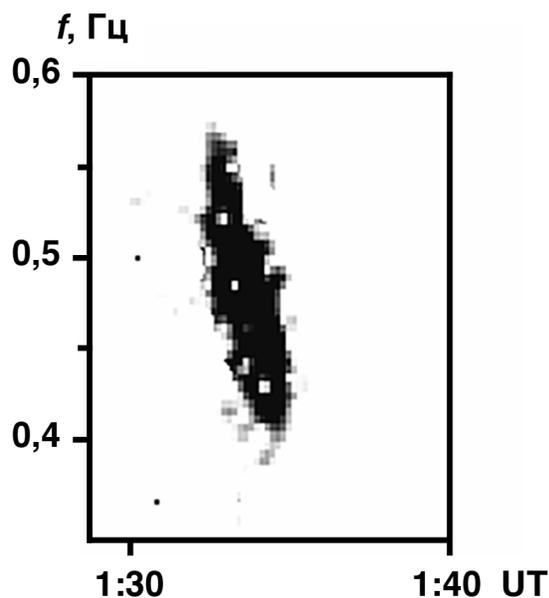


Рис. 5. Пример сонограммы дискретных широкополосных сигналов типа Pi1B (X компонента), зарегистрированных на станции Восток 9 июня 1968 г.

ло отмечено в ранних работах [Troitskaya et al., 1968]. В принципе, теория геомагнитных пульсаций не предусматривает появление квазимонохроматических пульсаций в областях полярных шапок из-за отсутствия альвеновского резонанса на открытых силовых линиях. Однако достаточно часто, ~ 10 событий в месяц, при беглом анализе данных магнитометра станции Восток обнаруживаются длительные квазимонохроматические сигналы в районе, соответствующем полярной шапке. Таким образом, помимо касповых Pc3-4 пульсаций, можно говорить о существовании специфических Pc3-4 волн в полярной шапке. Пример Pc-4 пульсаций в полярной шапке, зарегистрированных на станции Восток, приведен на Рис. 7.

Разные типы Pc3-4 пульсаций возможно связаны с разными каналами проникновения волн от общего источника – форшока, в магнитосферу Земли: через экваториальную магнитосферу, область каспа и мантию\доли хвоста. В последнем случае волны могут напрямую проникать в хвост магнитосферы и обеспечивать Pc3-4 активность в полярной шапке. Наблюдаемые в полярной шапке Pc3-4 пульсации в процессе распространения могут подвергаться полосовой фильтрации [Мазур и др., 2007]. Однако механизм такой фильтрации не основан на альвеновском резонансе замкнутых силовых линий. Впоследствии, появление Pc3-4 пульсаций в полярной шапке было подтверждено наблюдениями на других антарктических станциях [Чугунова и др., 2004; De Lauretis et al., 2005, 2010; Pilipenko et al., 2008], но наблюдения на станции Восток остаются пионерскими.

База данных

База данных индукционного магнитометра на станции Восток включает:

1. Данные с частотой регистрации 20 Гц двух горизонтальных компонент за 1966, 1968, 1970–1973 гг.:
 - файлы данных в формате WAV;
 - суточные файлы данных в текстовом двухколоночном формате, содержащие целочисленные значения в условных единицах.

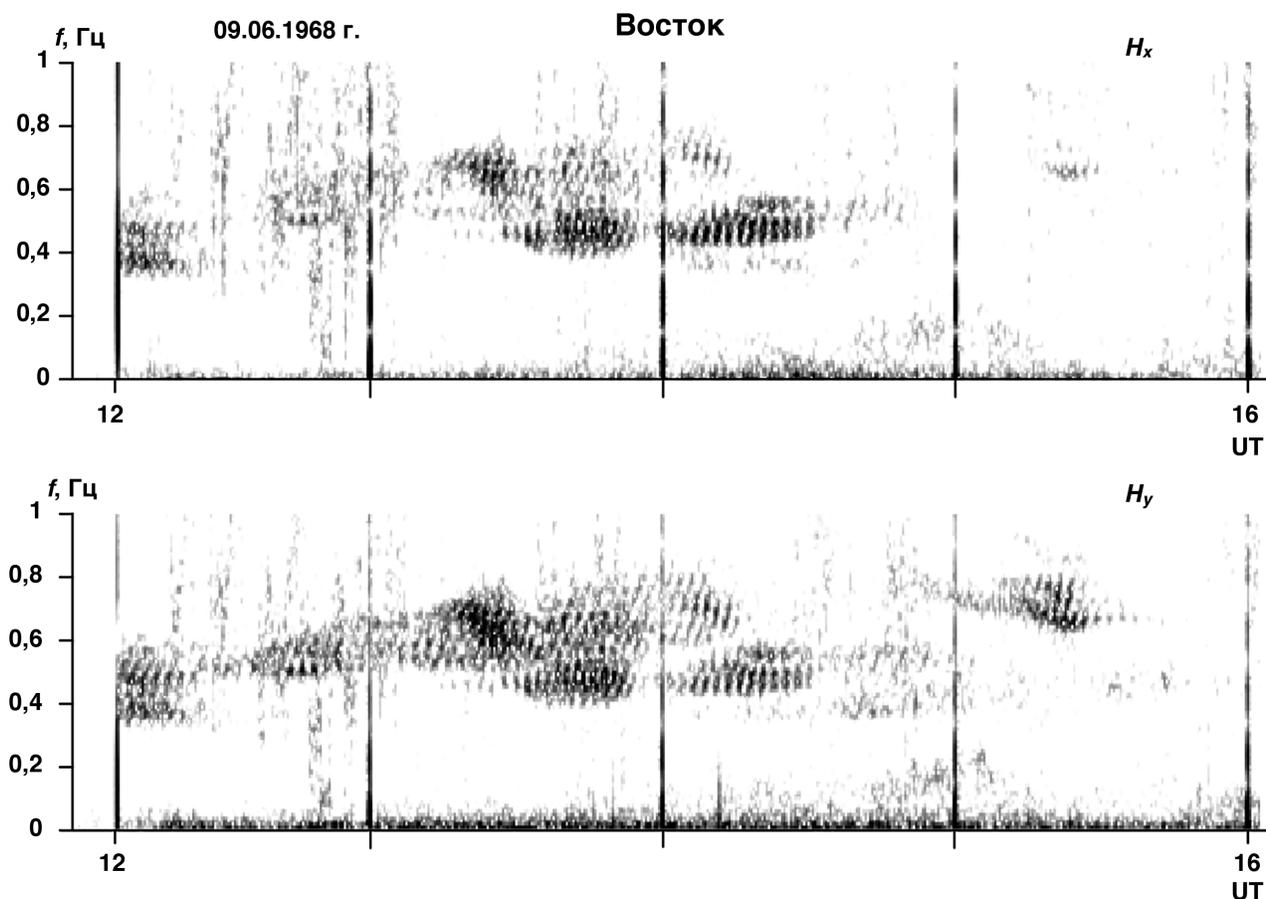


Рис. 6. Сонограмма Pc1 излучений на станции Восток (9 июня 1968 г.) по X (верхняя панель) и Y (нижняя панель) компонентам.

2. Quick-look сонограммы (динамические спектры) в частотном диапазоне 0,1–5,0 Гц 6-часовых интервалов;
3. Программа для конвертации WAV-файлов в текстовые;
4. Усредненные данные в текстовом формате с шагом 1 сек;
5. Quick-look магнитограммы данных с усреднением к шагу по времени 1 сек.

Архив данных находится в свободном доступе по FTP протоколу на сайте Мирового центра данных по солнечно-земной физике (МЦД СЗФ) (http://www.wdcb.ru/arctic_antarctic/antarctic_magn_4.ru.html). В разделе сайта, посвященном Антарктике, также доступны геомагнитные, сейсмологические и гравиметрические данные, данные по тепловому потоку, космическим лучам и вулканам.

Перспективы развития центра геомагнитных данных Арктики и Антарктики

Российско-советская сеть магнитных, авроральных и метеорологических обсерваторий обеспечивает один из самых длинных рядов данных, которые дают уникальный материал для исследований различных аспектов космического климата. Специализированная база данных, собранная сотрудниками Санкт-Петербургского филиала Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, содержит цифровые изображения аналоговых магнитограмм российских станций, ежечасные величины компонент геомагнитного поля, данные о полярных сияниях, наблюдавшихся на 141 станции Российской метеорологической сети [Птицына и др., 2017]. Также был оцифрован

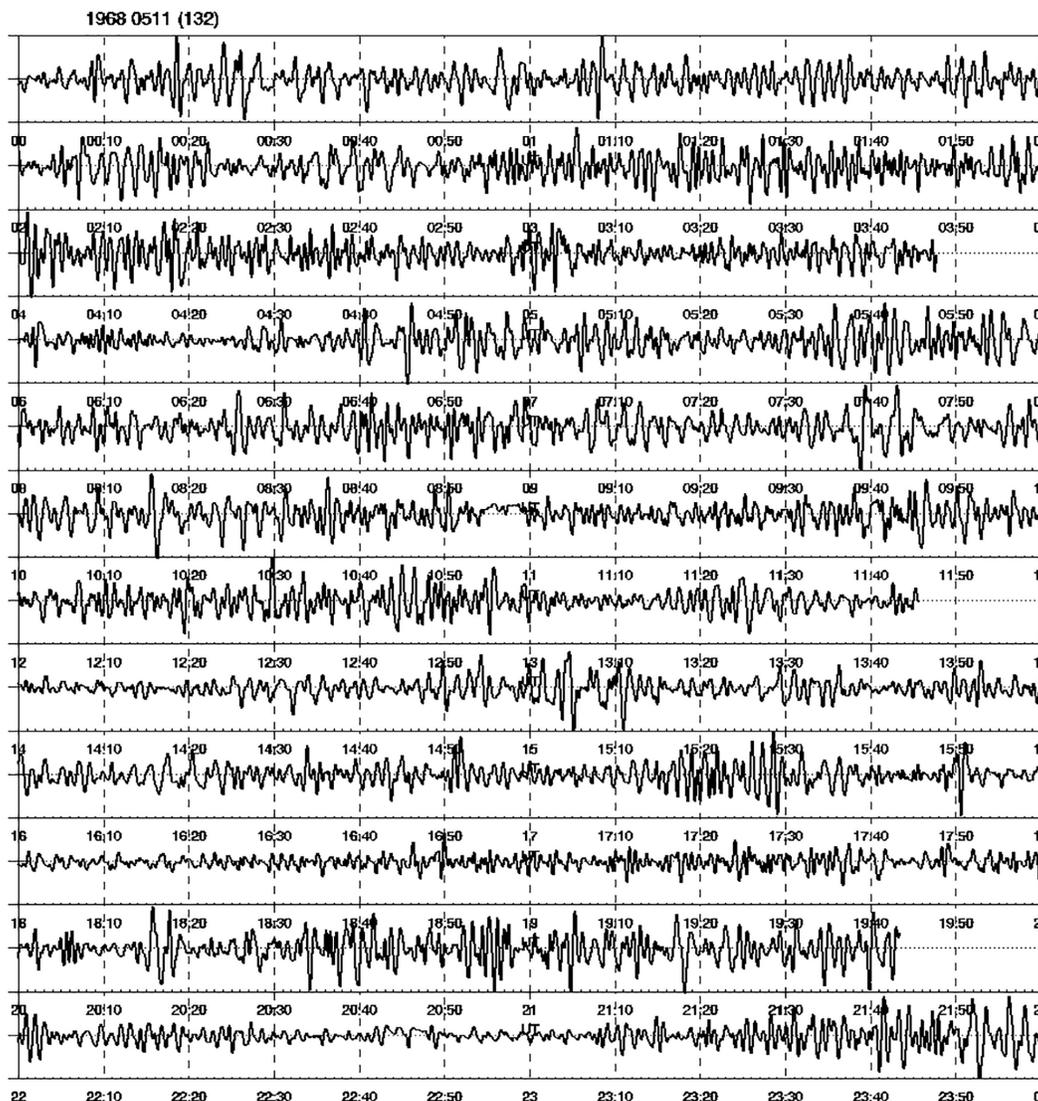


Рис. 7. Пример магнитограммы Pc3-4 пульсаций (X компонента) в полярной шапке по наблюдениям на станции Восток 5 ноября 1968 г. (день 132).

и выложен в свободный доступ архив бумажных записей магнитных обсерваторий России с 1837 г. (<http://db.izmiran.nw.ru/geomag>). Созданная нами база оцифрованных данных высокочувствительного индукционного магнитометра на антарктической станции Восток продолжает эту важную деятельность.

Традиционно полярная шапка рассматривается как геомагнитно спокойная область. Измерения на спутниках THEMIS, Cluster в геомагнитном хвосте выявили ряд динамических явлений: импульсные потоки плазмы BBF (bursty bulk flow), высокоскоростные всплески плазмы FB (flow bursts), фронты реконфигурации маг-

нитосферного магнитного поля (dipolarization fronts), пересоединение магнитных полей, колебательные движения нейтрального слоя, и т.п. Также окружающий магнитосферу Земли магнитослой (magnetosheath) между земной ударной волной и границей магнитосферы, оказался не ламинарным потоком, а сильно турбулентной средой с частыми спорадическими всплесками, в котором спорадически возникают области горячей плазмы (hot flow anomalies), пучки плазмы (plasma jets), поверхностные волны на магнитопаузе и др. Информация о динамических плазменных процессах в хвосте и пограничных областях магнитосферы может быть переда-

на в высокоширотную ионосферу альвеновскими волнами [Keiling, 2009]. Таким образом, динамические процессы в хвосте могут проявиться в УНЧ возмущениях на поверхности Земли в полярных шапках и вблизи полюсной границы аврорального овала. В частности, наземные оптические и магнитные наблюдения показывают динамичную картину активности в области границы между полярной шапкой и ночным авроральным овалом [Lyons et al., 1999]. Обнаружено, что начальные возмущения (auroral streamer), приводящие, в конечном счете, к взрывному развитию авроральной суббури, зарождаются именно в области полярной границы аврорального овала. Однако в целом, геоэффективность перечисленных динамических явлений практически не изучена. Физическая природа и механизм возбуждения этих возмущений остается в значительной мере невыясненным, что с высокой степенью вероятности позволяет надеяться на обнаружение новых волновых явлений и транзитов в полярной шапке, что расширит представления о процессах, наблюдаемых в самой динамичной структуре из окружающих оболочек Земли – магнитосфере. Импульсные и волновые МГД возмущения являются естественным индикатором динамических процессов, происходящих на удаленностях в несколько десятков тысяч километров от Земли и невозможно добиться существенного прогресса в понимании глобальной электродинамики суббури без выяснения природы МГД возмущений, сопровождающих фазы накопления и взрывного выделения энергии. Хотя высказывались гипотезы о возможной роли УНЧ волн в развитии суббури (например, для нагрева плазменного слоя [Goertz and Smith, 1989]), но экспериментальные проверки этого предположения пока немногочисленны [Yagova et al., 2000].

Основные представления о формировании поля геомагнитных пульсаций разрабатывались для магнитосферы с замкнутыми квазидипольными силовыми линиями, образующими естественный резонатор для альвеновских колебаний, ограниченный сопряженными ионосферами. В области разомкнутых силовых линий, соответствующих полярной шапке, эти представления оказываются неприменимыми, и механизмы формирования спектральной структуры полярных пульсаций остаются невыясненными.

Интерпретация результатов наблюдений в полярных областях с неизбежностью потребует существенного пересмотра теоретических представлений о механизмах генерации и распространения геомагнитных пульсаций, разработанных для внутренней магнитосферы.

К настоящему времени в Антарктиде работают более трех десятков геомагнитных обсерваторий и автономных станций, оснащенных как феррозондовыми магнитометрами с большим динамическим диапазоном, так и высокочувствительными индукционными магнитометрами с высокой частотой регистрации (10–40 Гц). Данные магнитных станций дополняются наблюдениями системы радаров SuperDARN, поле зрения которых полностью покрывает полярную шапку (<http://vt.superdarn.org/>). Появилась возможность изучения сопряженности на очень высоких широтах благодаря развернутой сети станций в Антарктиде (<http://mist.nianet.org>), находящихся на том же геомагнитном меридиане, что и сеть станций вдоль западного побережья Гренландии. Таким образом, Антарктида становится мировым геофизическим полигоном. Обеспечить отечественным исследователям максимально удобный доступ к данным этого полигона и предоставить средства их интеллектуального анализа – актуальная задача Центра данных Арктики и Антарктики, созданию которого с недавних пор посвящены совместные усилия ГЦ РАН и ИФЗ РАН.

Благодарности. Работа поддержана грантами РФФИ 20-05-00787 (М. В. А., Д. М. Н.) и 19-05-00574 (Б. В. Д.). Выражаем признательность Н. А. Сергеевой за помощь с размещением данных на сайте МЦД.

Литература

- Большакова, О. В., В. А. Троицкая (1984), Связь высокоширотного максимума Pс3 пульсаций с дневным каспом, *Геомагнетизм Аэрономия*, 24, No. 5, 633–636.
- Гульельми, А. В., Б. В. Довбня (1973), Гидромагнитное излучение межпланетной плазмы, *Письма в ЖЭТФ*, 18, No. 10, 601–604.

- Гульельми, А. В., Б. В. Довбня (1974), Наблюдение геомагнитных пульсаций в диапазоне 0–2 Гц с глубокой модуляцией несущей частоты в полярной шапке, *Геомагнетизм и аэронаука*, 14, No. 5, 868–870.
- Гульельми, А. В., Б. В. Довбня, Б. И. Клайн (1975), Возбуждение геомагнитных пульсаций типа “серпентинная эмиссия” в межпланетной плазме, *Докл. АН СССР*, 221, 1314–1317.
- Гульельми, А. В. (1988), Коэффициент связи частоты Pc3 с величиной ММП, *Геомагнетизм и аэронаука*, 28, 465–468.
- Гульельми, А. В., А. С. Потапов, Б. В. Довбня (2019), Влияние ориентации межпланетного магнитного поля на северно-южную асимметрию УНЧ волновых пакетов в полярных шапках, *Геофизические Исследования*, 221, 1314–1317, [Crossref](#)
- Довбня, Б. С., А. С. Потапов (2018), Частотная модуляция серпентинной эмиссии по сравнению с набором известных периодичностей солнечных колебаний, *Физика Земли*, 54, No. 5, 680–687.
- Мазур, Н. Г., Е. Н. Федоров, В. А. Пилипенко (2007), Трансформация БМЗ волн в альфвеновские в гиротропной продольно-неоднородной плазме, *Физика Плазмы*, 33, No. 6, 526–533.
- Птицына, Н. Г., С. Н. Соколов, В. А. Солдатов, и др. (2017), База исторических данных о геомагнитной и авроральной активности, ориентированная на изучение солнечно-земных связей, *Геофизические процессы и биосфера*, 16, No. 4, 67–80, [Crossref](#)
- Федоров, Е. Н., Н. Г. Мазур, В. А. Пилипенко, и др. (1998), О механизме формирования Pc3 пульсаций на широтах дневного каспа, *Геомагнетизм и аэронаука*, 38, No. 2, 60–66.
- Чугунова, О. М., В. А. Пилипенко, М. Энгебретсон (2004), Появление квазимонохроматических Pc3–4 пульсаций в полярной шапке, *Геомагнетизм и аэронаука*, 44, No. 1, 47–54.
- Bland, E. C., A. J. McDonald (2016), High spatial resolution radar observations of ultralow frequency waves in the southern polar cap, *J. Geophys. Res.*, 121, 4005–4016, [Crossref](#)
- De Lauretis, M., P. Francia, M. Vellante, et al. (2005), ULF geomagnetic pulsations in the southern polar cap: Simultaneous measurements near the cusp and the geomagnetic pole, *J. Geophys. Res.*, 110, A11204, [Crossref](#)
- De Lauretis, M., P. Francia, M. Regi, et al. (2010), Pc3 pulsations in the polar cap and at low latitude, *J. Geophys. Res.*, 115, A11223, [Crossref](#)
- Fedorov, E. N., V. A. Pilipenko, M. J. Engebretson, et al. (2018), Transmission of a magnetospheric Pc1 wave beam through the ionosphere to the ground, *J. Geophys. Res.*, 123, 3965–3982, [Crossref](#)
- Goertz, C. K., R. A. Smith (1989), The thermal catastrophe model of substorms, *J. Geophys. Res.*, 94, 6581, [Crossref](#)
- Keiling, A. (2009), Alfvén waves and their roles in the dynamics of the Earth’s magnetotail: A review, *Space Science Reviews*, 142, 73–156.
- Lyons, L. R., T. Nagai, G. T. Blanchard, et al. (1999), Association between Geotail plasma flows and auroral poleward boundary intensifications observed by CANOPUS photometers, *J. Geophys. Res.*, 104, 4485–4500.
- Morris, R. J., K. D. Cole (1987), “Serpentine emission” at the high latitude Antarctic station, Davis, *Planet. Space Sci.*, 35, 313–328, [Crossref](#)
- Pilipenko, V. A., M. J. Engebretson (2002), Ground images at high latitudes of ULF wave processes in the outer magnetosphere, *J. Atmosph. Solar-Terr. Physics*, 64, 183–201.
- Pilipenko, V., O. Chugunova, M. Engebretson (2008), Pc3–4 ULF waves at polar latitudes, *J. Atmosph. Solar-Terr. Physics*, 70, 2262–2274, [Crossref](#)
- Potapov, A. S., A. V. Guglielmi, B. V. Dovbnya (2020), Ultra low frequency emissions ranging from 0.1 to 3 Hz in circumpolar areas, *Solar-Terrestrial Physics*, 6, No. 3, 40–45, [Crossref](#)
- Troitskaya, V. A., O. V. Bolshakova, I. P. Hessler (1968), Preliminary results of micropulsation studies at magnetoconjugate points in the Arctic and Antarctic, *Annales Geophysicae*, 24, 741–746.
- Troshichev, O., A. Janzhura (2012), *Space Weather Monitoring by Ground-Based Means. PC Index*, XXIV, 288 с. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. [Crossref](#)
- Yagova, N. V., V. A. Pilipenko, A. S. Rodger, et al. (2000), Long period ULF activity at the polar cap preceding substorm, с. 603–606, Proc. 5th International Conference on Substorms, St. Petersburg, Russia (ESA SP-443), Noordwijk, the Netherlands.
- Yagova, N. V., V. A. Pilipenko, L. J. Lanzerotti, et al. (2004), Two-dimensional structure of long-period pulsations at polar latitudes in Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 109, A03222, [Crossref](#)

Контакт:

В. А. Пилипенко, Институт физики Земли РАН им. О. Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), Москва, Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, 123242 (pilipenko_va@mail.ru)