

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ МАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В ЭПОХУ СПАДА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Р.А. Марчук

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия  
darckghost97@gmail.com

## STUDYING EVOLUTION OF MAGNETIC DISTURBANCES DURING THE DECLINE IN SOLAR ACTIVITY

R.A. Marchuk

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia  
darckghost97@gmail.com

**Аннотация.** Во время магнитосферных возмущений были выявлены кратковременные (5–10 мин) усиления магнитного поля в авроральной зоне, которые сопровождались генерацией геомагнитных пульсаций как на ст. Исток, так и в средних широтах (ст. Узур, Монды). Было обнаружено, что такие кратковременные импульсы в магнитном поле могут появляться как в возмущенные периоды, так и при умеренной и слабой магнитной активности. Все такие кратковременные всплески сопровождались возбуждением геомагнитных пульсаций в высоких и средних широтах. Предварительный анализ появления подобных импульсных всплесков позволил сделать предположение о том, что такие всплески чаще наблюдаются в эпоху спада солнечной активности, чем при ее росте. Такие периоды характеризуются развитием областей коратационного взаимодействия, попав в которую, магнитосфера может стимулировать нетрадиционное развитие геофизических явлений.

Результаты получены с использованием оборудования магнитометрического комплекса центра коллективного пользования «Ангара» [<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>].

**Ключевые слова:** физика магнитосферы, магнитное поле Земли, геомагнитные пульсации, эпоха спада солнечной активности, мониторинг.

**Abstract.** During the magnetospheric disturbances, short-term (5–10 min) amplifications of the magnetic field in the auroral zone were detected, which were accompanied by the generation of geomagnetic pulsations as in st. Istok, and in middle latitudes (art. Uzur, Mondy). It was found that such short-term pulses in a magnetic field can appear both in disturbed periods and with moderate and weak magnetic activity. All such short-term bursts were accompanied by the excitation of geomagnetic pulsations in high and middle latitudes. A preliminary analysis of the appearance of such pulsed bursts allowed us to make the assumption that such bursts are more often observed in the epoch of a decline in solar activity than during its growth. Such periods are characterized by the development of areas of co-operation interaction, once in which the magnetosphere can stimulate non-traditional development of geophysical phenomena.

The results were obtained using the equipment of the magnetometric complex of the center of collective use of the «Hangar» [<http://ckp-rf.ru/ckp/3056>].

**Keywords:** magnetosphere physics, Earth's magnetic field, geomagnetic pulsations, the era of the decline of solar activity, monitoring.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остается ряд не решенных вопросов при исследовании физики солнечно-земных связей в геомагнитных пульсациях. Одним из них является вопрос об экспериментальном исследовании морфологии возбуждения геомагнитных пульсаций и их физических механизмов при возникновении кратковременных магнитных импульсов, проявляющихся во время спада Солнечной активности. [Рахматулин, 2010] Геомагнитные пульсации — это гидромагнитные (МГД) волны в магнитосфере Земли; возбуждаясь на больших высотах в периоды магнитосферных возмущений и трансформируясь на уровне ионосферы в электромагнитные колебания, они становятся доступными для регистрации наземными средствами. [Гульельми, 1973] МГД-волны играют большую роль в физике магнитосферных процессов. Они участвуют в диссипации частиц средних энергий, накапливающихся в области кольцевого тока после геомагнитных бурь, служат важным элементом квазивязкого взаимодействия солнечного ветра с геомагнитным полем на магнитопаузе, ускоряют

электроны радиационных поясов до релятивистских энергий, заметно влияют на процессы высыпания авроральных частиц вовремя суббурь. Кроме того, геомагнитные пульсации обладают диагностическим потенциалом. Они несут информацию о плазменных процессах в различных областях магнитосферы и околоземного космического пространства.

В настоящей работе проведен анализ и систематизация возбуждения кратковременных всплесков в магнитном поле Земли различной интенсивности, обнаруженных в авральной зоне по данным авроральных магнитных обсерваторий: Amderma (AMD), Dixon Island (DIK), Tixie Bay (TIK). Определены морфологические свойства импульсов магнитного поля в разных зонах, а также изучены их проявление в геомагнитных пульсациях.

### АНАЛИЗ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ВСПЛЕСКОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В работе проводится анализ кратковременных всплесков в вариациях магнитного поля Земли, наблюдаемых по данным авроральных станций Amderma

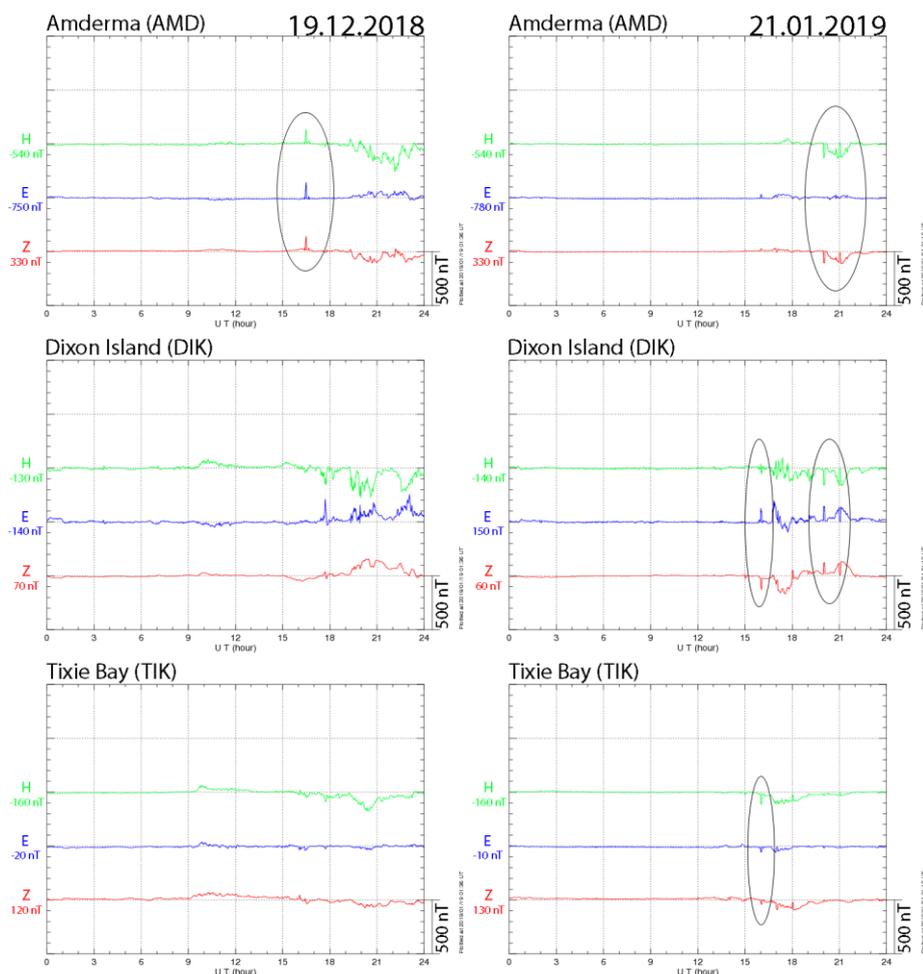


Рис. 1. Примеры появления кратковременных всплесков в магнитном поле Земли по данным авроральных обсерваторий (появление всплесков выделено овалом)

(AMD, 69.46°, 61.41°), Dixon Island (DIK, 73.55°, 80.57°), Tixie Bay (TIX, 72.58°, 129.00°).

Явление заключается в возникновении кратковременных всплесков различной интенсивности в геомагнитном поле Земли длительностью от 1 до 5 мин (рис. 1, левое изображение 19.12.2018 — всплеск наблюдается в 16:30 на ст. Amderma во всех трех компонентах; правое изображение 21.01.2019 — наблюдалось три всплеска в 16:00, 20:00 и 21:00). Важной особенностью является то, что практически все всплески в магнитном поле сопровождаются возбуждением геомагнитных пульсаций в высоких и средних широтах.

Предполагается, что исследуемые явления могут быть связаны с локальной и кратковременной инжекцией заряженных частиц в атмосферу Земли при ее прохождении через потоки солнечного ветра, где происходит развитие области коротационного взаимодействия. В пользу такого предположения может служить случай синхронного наблюдения пульсаций и полярных сияний, детально рассмотренные в работе [Shiokawa 2018].

Первоочередной задачей был анализ магнитных данных авроральных станций на предмет выявления кратковременных магнитных импульсов, как это иллюстрируется на рис. 1. Далее было необходимо систематизировать найденные события, описать

морфологию всплесков, на каких станциях они наблюдались и какова была ситуация в магнитном поле и в магнитосфере в это время. Затем анализировались материалы наблюдения геомагнитных пульсаций индукционными магнитометрами, расположенными в авроральных (ст. Исток) и средних широтах (ст. Узур, Монды) на предмет выявления пульсаций, сопровождающих появление кратковременных магнитных импульсов. Результат такого анализа приведен в таблице.

### ПРИМЕР АНАЛИЗА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для примера рассмотрим случай 21.01.2019. В этот день наблюдалось три пика в магнитном поле — в 16:00, 20:00 и 21:00 UT (см. рис. 1, правое изображение). Всплески наблюдаются на фоне незначительного магнитного возмущения с 20 по 22 UT. Первый пик в 16:00 наблюдался на всех трех станциях во всех трех компонентах: с максимальной интенсивностью на ст. DIK, и менее интенсивно на ст. AMD и ТИК. Пульсации наблюдались на ст. Исток и Узур с интенсивностью в 0.02 нТл (рис. 2, верхнее левое изображение). Второй пик в 20:00 UT прослеживается на ст. DIK (во всех трех компонентах) и на AMD (в H- и Z-компонентах). Пик в магнитном поле

Результат проведенного мониторинга

Дата	Время(UT)	Пульсации	Описание
03.06.18	21:00	Исток	Пик во всех компонентах, только на станции D1K на спокойном фоне
06.07.18	22:00	Исток	Пик всех компонент перед началом суббури; станции D1K, AMD
	23:00	Исток	Пик всех компонент на фоне бухты суббури; станции D1K, AMD
09.09.18	17:00	Не обнаружено	Большой пик в H-компоненте на станции D1K с последующим началом возмущений
	21:00	Исток	Пик во всех компонентах на фоне возмущений; станции D1K, AMD
21.10.18	13:00	Исток, Монды	Пик во всех компонентах, на всех станциях, с протекающей суббурей на фоне
04.11.18	12:00	Исток, Монды	Слабый пик на всех станциях, перед началом магнитной бури
	13:00	Исток, Монды	Пик в H компоненте на станциях AMD и T1K; на станции T1K началась магнитная буря
19.12.18	16:30	Исток, Монды	Равномерный пик во всех трех компонентах на станции AMD на спокойном фоне
20.01.19	15:00	Не обнаружено	Пик в H- и Z-компонентах на станции D1K, с откликом на станции T1K, с дальнейшим началом возмущений
	16:00	Монды, Узур	Пик на всех компонентах на станции D1K на фоне возмущений
21.01.19	16:00	Исток, Монды, Узур	Пик на станциях T1K и D1K, с дальнейшей бухтой суббури на станции D1K
	20:00	Исток, Монды, Узур	Пик на станциях AMD, D1K, во всех компонентах с дальнейшим развитием суббури
	21:00	Исток, Монды, Узур	Пик, D1K и AMD, на фоне бухты на обеих станциях на фоне протекающей суббури
22.01.19	18:00	Исток	Пик в компоненте H на всех станциях, с дальнейшим началом бури
17.02.19	19:00	Исток, Монды	Пик на станциях AMD, D1K, с началом небольших возмущений
	23:00	Не обнаружено	Пик на станциях AMD, D1K, наблюдаемый после прошедших возмущений
07.03.19	14:00	Исток	Всплеск во всех компонентах на станциях D1K и AMD с дальнейшими возмущениями
08.03.19	17:00	Узур, Монды	Всплеск в H составляющей на станции D1K на спокойном фоне

в 20:00 UT не сопровождался пульсациями, которые, однако наблюдались в 20:15 на двух среднеширотных станциях (Монды, Узур) и в 20:13 на высокоширотной станции Исток (рис. 2 верхнее правое изображение) с амплитудой 0.03 нТл в Мондах и 0.1 нТл на Истоке. И третий пик в 21:00 наблюдался на фоне суббури на ст. D1K и AMD. Возбуждение геомагнитных пульсаций коррелируют с изучаемыми магнитными импульсами (см. рис. 2, нижнее левое изображение), где так же приведена спектрограмма дня в интересующие часы (см. рис. 2, нижнее правое изображение).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был проведен мониторинг вариаций магнитного поля Земли в авроральных широтах с целью выявления кратковременных магнитных импульсов разной интенсивности. Результатом такого мониторинга

явился каталог появления кратковременных магнитных импульсов в высоких широтах. Далее был проведен комплексный анализ геомагнитных пульсаций в выбранные дни по данным станций высоких и средних широт: Исток, Монды и Узур. В результате проведенного исследования было обнаружено, что появление кратковременных магнитных импульсов в высоких широтах сопровождается возбуждением геомагнитных пульсаций в авроральной и среднеширотной зонах. При этом следует отметить, что эти импульсы сопровождаются пульсациями как при слабозвозмущенных условиях, так и на совершенно спокойном магнитном фоне.

Геомагнитные пульсации сопровождали импульсные пики более чем в 80 % случаев. Дальнейшее направление исследований такого плана подразумевают накопление и анализ экспериментального материала.

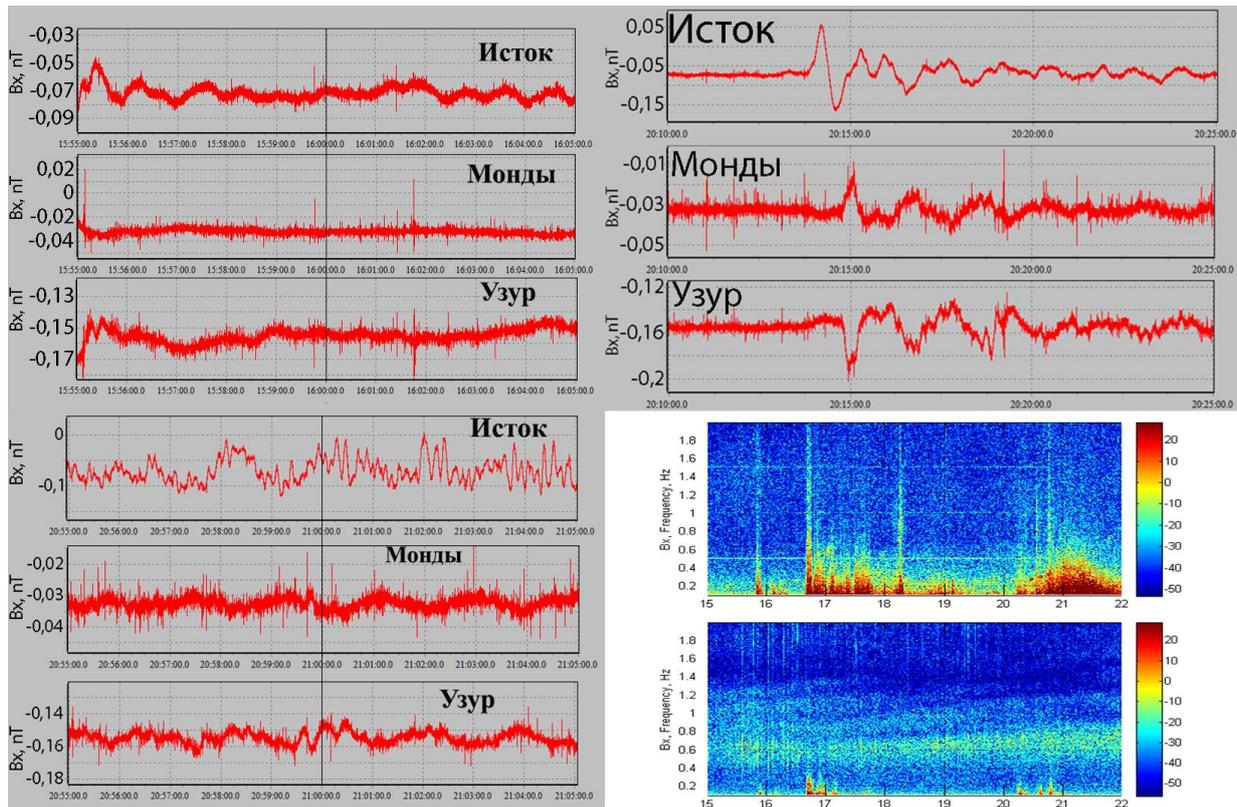


Рис. 2. Фрагменты аналоговых записей геомагнитных пульсаций 21.01.2019 и динамические спектры пульсации в высоких (верхняя часть спектра) и средних широтах (нижняя часть спектрограммы)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука, 1973. С. 207.  
 Рахматулин Р.А. Суббурия в геомагнитных пульсациях. Эксперименты на меридиональных цепочках станций Евразийского континента 1973–2003 гг.: автореферат дис. д-ра физико-математических наук: 25.00.29. Институт солнечно-земной физики, Иркутск, 2010. С. 7.

Shiokawa K., Ozaki M., Kadokura A., et al. Purple auroral rays and global Pc1 pulsations observed at the CIR-associated solar wind density enhancement on 21 March 2017 // Geophys. Res. Lett. 2018. V. 45. DOI: [10.1029/2018GL079103](https://doi.org/10.1029/2018GL079103).