

УДК 523.31.853:523.62.726

УТРЕННИЕ ГЕОМАГНИТНЫЕ БУХТЫ В ПОЛЯРНЫХ ШИРОТАХ И ИХ МАГНИТОСФЕРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

© 2022 г. Н. Г. Клейменова¹, *, И. В. Дэспирак², А. А. Любчик²,
Л. М. Мальшева¹, Л. И. Громова³, С. В. Громов³

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
“Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта Российской академии наук”, Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
“Полярный геофизический институт”, Апатиты, Россия

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
“Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова
Российской академии наук”, Москва, Россия

*E-mail: ngk1935@yandex.ru

Поступила в редакцию 29.07.2022 г.

После доработки 15.08.2022 г.

Принята к публикации 22.08.2022 г.

Исследованы утренние полярные бухтообразные магнитные возмущения на широтах выше 70° MLAT, наблюдаемые при отсутствии одновременной геомагнитной активности на более низких широтах. Показано, что причиной таких возмущений может быть пространственная экспансия на утреннюю сторону как ночных суббурь, так и дневных полярных магнитных бухт, а также генерация конвективных бухт. Наиболее типичным является одновременное развитие ночных суббурь и конвективных полярных бухт. Показано, что отдельные события утренних полярных магнитных бухт, наблюдающиеся во время развития ночных суббурь, могут сопровождаться среднеширотными утренними положительными магнитными бухтами.

DOI: 10.31857/S0367676522120171

ВВЕДЕНИЕ

Бухтообразные магнитные возмущения, наблюдаемые в вечернее и ночное время на широтах выше 70° MLAT (в дальнейшем эти широты будем называть “полярными”) в 70-х годах прошлого века называли “суббурами на сжатом овале” [1–4], поскольку эти суббури обычно регистрируются в слабовозмущенных геомагнитных условиях, когда авроральный овал поджат к полюсу. Затем в работах [5–8], было предложено такие высокоширотные возмущения, сопровождаемые типичным для суббури комплексом геофизических явлений, называть “полярными суббурами”. “Полярные суббури” наблюдаются при низкой скорости солнечного ветра после прохождения высокоскоростного рекуррентного потока или во время медленного потока солнечного ветра, а также на поздней восстановительной фазе магнитной бури [8, 9].

В то же время, как показал наш анализ высокоширотных наблюдений на скандинавской сети магнитометров IMAGE, отрицательные магнитные бухты в полярных широтах могут наблюдаться не только в вечернее и ночное время, но и

утром в предполуденные часы. Если исследованию вечерних “полярных суббурь” посвящен целый ряд работ, например, [1–8], то утренние полярные бухты еще практически не изучены.

Целью данной работы является исследование пространственных особенностей и возможных магнитосферных источников утренних полярных отрицательных бухтообразных магнитных возмущений (далее “полярных магнитных бухт”), наблюдаемых на скандинавской сети магнитометров IMAGE на геомагнитных широтах выше 70° MLAT (рис. 1a).

МАГНИТНЫЕ БУХТЫ В УТРЕННЕМ СЕКТОРЕ ПОЛЯРНЫХ ШИРОТ

На рис. 1a показано географическое положение станций сети IMAGE (<http://space.fmi.fi/image/>). Обсуждаемые в данной работе полярные магнитные бухты наблюдались на архипелаге Шпицберген в отсутствие геомагнитных возмущений на материковых станциях. Промежуточной станцией между архипелагом и материком является станция Bear Island (BJN, 71.4° MLAT)

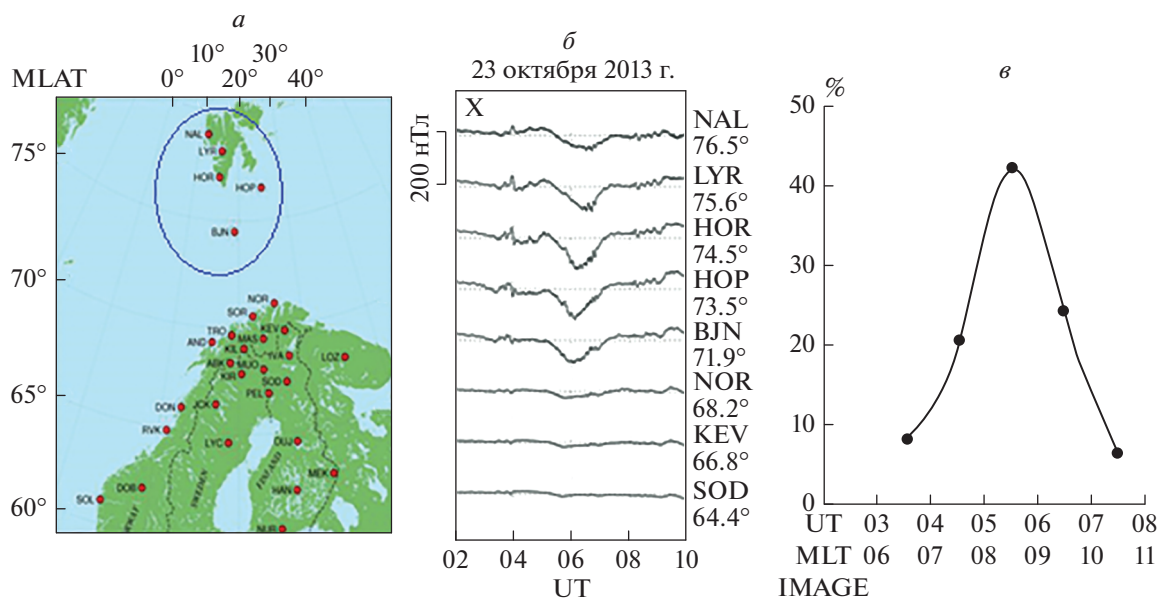


Рис. 1. Карта расположения станций скандинавской сети IMAGE, показана область, на которых наблюдались утренние полярные бухты (а); пример магнитограммы утренней полярной бухты, слева — коды станций и их геомагнитная широта (б); суточный ход появления утренних полярных бухт (в).

на острове Медвежий, южнее которого находится море, на берегу которого находится континентальная станция Nordkapp (NOR, 68.2° MLAT). Если магнитные бухты наблюдаются в BJN, но отсутствуют в NOR, то условной низкоширотной границей появления магнитных бухт можно считать середину расстояния между пунктами BJN и NOR, т.е. около 70° MLAT.

Магнитограмма, приведенная на рис. 1, показывает пример типичной утренней полярной магнитной бухты, зарегистрированной на сети IMAGE в виде отрицательного возмущения с плавным началом и таким же плавным окончанием, без резких импульсных интенсификаций. Отсутствие геомагнитных возмущений в более низких, авроральных широтах свидетельствует о том, что рассматриваемая бухта не является результатом полярной экспансии авроральной суббури и регистрируется, как и ночные полярные суббури, на сжатом овале. Как и ночные полярные суббури, утренние полярные бухты, как правило, наблюдаются при низкой скорости солнечного ветра ($V < 450$ км/с).

Максимальная амплитуда утренней полярной бухты обычно порядка 200–300 нТл, а длительность — не более двух часов. На рис. 1в показан построенный по 112 событиям в 2006–2017 гг. суточный ход появления утренних полярных бухт, виден четкий максимум в 08–09 MLT, т.е. в предполуденное время.

Для исследования планетарного распределения геомагнитной активности во время утренних

полярных бухт были использованы данные магнитной регистрации на 66 спутниках связи проекта AMPERE (Active Magnetosphere and Planetary Electrodynamics Response Experiment), одновременно работающих на высотах 780 км [10]. В нашей работе использовались общедоступные данные проекта AMPERE, представленные на сайте <http://ampere.jhuapl.edu/products> в виде обобщенных за 10 мин карт распределения геомагнитной возмущенности, построенных по результатам сферического гармонического анализа магнитных измерений и вычисленных по этим данным распределений продольных токов: втекающие в ионосферу токи показаны на картах синим, а вытекающие красным.

За период регистрации на спутниках AMPERE в 2010–2017 гг., на высокоширотных станциях профиля IMAGE (BJN–NAL) было выделено 48 случаев появления утренних полярных магнитных бухт.

Анализ распределения планетарной геомагнитной активности во время исследуемых утренних полярных магнитных бухт показал, что их источниками могут быть различные возмущения в высокоширотной магнитосфере такие как дневные полярные бухты, ночные суббури и конвективные бухты. Рассмотрим такие случаи более детально.

Дневные полярные бухтообразные возмущения

Ранее было установлено, например, в работах [11–13], что при северном направлении межпла-

нетного магнитного поля (ММП), т.е. во время спокойных условий, когда авроральный овал сжат и сдвинут к полюсу, в дневном секторе полярных широт могут наблюдаться магнитные бухтообразные возмущения большой интенсивности, временные вариации и знак которых обычно контролируются V_u -компонентой ММП, как это было показано в ряде работ, например, [13–15]. В работе [4] они были даже названы DPY -вариациями.

Анализ данных AMPERE показал, что ионосферный электроджет, ответственный за околополуденные полярные магнитные бухты, и усиленные продольные токи могут наблюдаться в достаточно широкой дневной долготной области от утреннего до послеполуденного сектора полярных широт, т.е. быть зарегистрированным на земной поверхности как отрицательная магнитная бухта в утреннем секторе полярных широт. Пример такого события показан на рис. 2а, на левой панели которого приведены магнитограммы высокоширотных станций профиля IMAGE, где видно развитие утренней магнитной бухты в 04–06 UT на Шпицбергене на широтах выше $\sim 70^\circ$ MLAT, а на правой панели – карты планетарного распределения электроджетов и продольных токов, построенные по данным сферического анализа магнитных измерений на спутниках AMPERE, во время этой бухты. Из приведенных графиков видно, что данная утренняя бухта является результатом азимутального развития (экспансии) дневного полярного электроджета в утренний сектор. К сожалению, наземных измерений в дневном секторе полярных широт во время данного события не имеется. На картах AMPERE видно, что это событие развивалось над просторами Ледовитого океана.

Из рассмотренных 48 случаев утренних полярных магнитных бухт подобная ситуация наблюдалась в 6 событиях, при этом все они были зарегистрированы в летнее время. Пять из них наблюдались при устойчиво отрицательной V_u -компоненте ММП, а в одном событии в рассматриваемый интервал произошел поворот V_u -компоненты от ~ -3 до $+6$ нТл.

Ночные суббури

Хорошо известно, что магнитосферные суббури, развивающиеся в ночном секторе, также могут наблюдаться в большом долготном интервале, от вечернего до утреннего сектора. Таким образом, зарегистрированные на профиле IMAGE утренние полярные магнитные бухты могут быть результатом азимутального продолжения ночных возмущений в утреннюю сторону. Чтобы показать это, необходимо рассмотрение распределения геомагнитной активности в глобальном мас-

штабе так, как это было выполнено в предыдущем разделе.

Пример результата такого анализа с использованием глобальных карт проекта AMPERE показан на рис. 2б для случая утренней полярной магнитной бухты, зарегистрированной 23 октября 2013 г. на сети IMAGE (магнитограммы в левой части рис. 2б).

На картах AMPERE (рис. 2б справа) видно, что в это время западный электроджет и усиленные продольные токи наблюдались с вечернего сектора до позднего утреннего. В послеполуденном секторе Земли ($\sim 00-01$ MLT) в это время наблюдалась “классическая” суббурия, в которой высокоширотный западный электроджет сопровождался более низкоширотным восточным джетом, что типично для токового клина суббури. В рассматриваемом событии западный электроджет наблюдался и в позднем утреннем секторе. Можно заметить интересную особенность: как правило, в дополуночном секторе, где развивалась суббурия, вытекающие токи (на картах показаны красным) были интенсивнее втекающих (показаны синим), а в утреннем секторе, где регистрировалась утренняя полярная бухта, – наблюдалась обратная картина: втекающие токи были интенсивнее вытекающих.

По данным наземных магнитометров SuperMAG в $\sim 05:30$ UT над Канадой и Гренландией наблюдалась суббурия, наиболее интенсивные возмущения были над Гренландией, то есть в послеполуденном секторе. Центральный меридиан токового клина находился между станциями STJ (MLAT = 52.6° ; MLON = 31.6°) и VAL (MLAT = 49.1° ; MLON = 70.4°), западный край – около станции STJ, а восточный край токового клина – около станции ODE (MLAT = 42.1° ; MLON = 104.5°), (магнитограммы SuperMAG не показаны). Таким образом, мы видим, что токовый клин протягивался от станции St Johns до Одессы, т.е. до меридиана, на котором находятся станции IMAGE. Таким образом, в этом событии утренние полярные бухты, которые зарегистрированы на высокоширотных станциях IMAGE, являются продолжением в утренний сектор ночной суббури.

Подобных событий, когда во время развития утренней полярной бухты на профиле IMAGE, усиленный электроджет и продольные токи по данным AMPERE регистрировались в ночном и утреннем секторах и отсутствовали в послеполуденном и раннем вечернем секторах, в исследуемый период было 5.

Конвективные магнитные бухты

Известно, что в высокоширотной ионосфере практически постоянно наблюдается конвекция

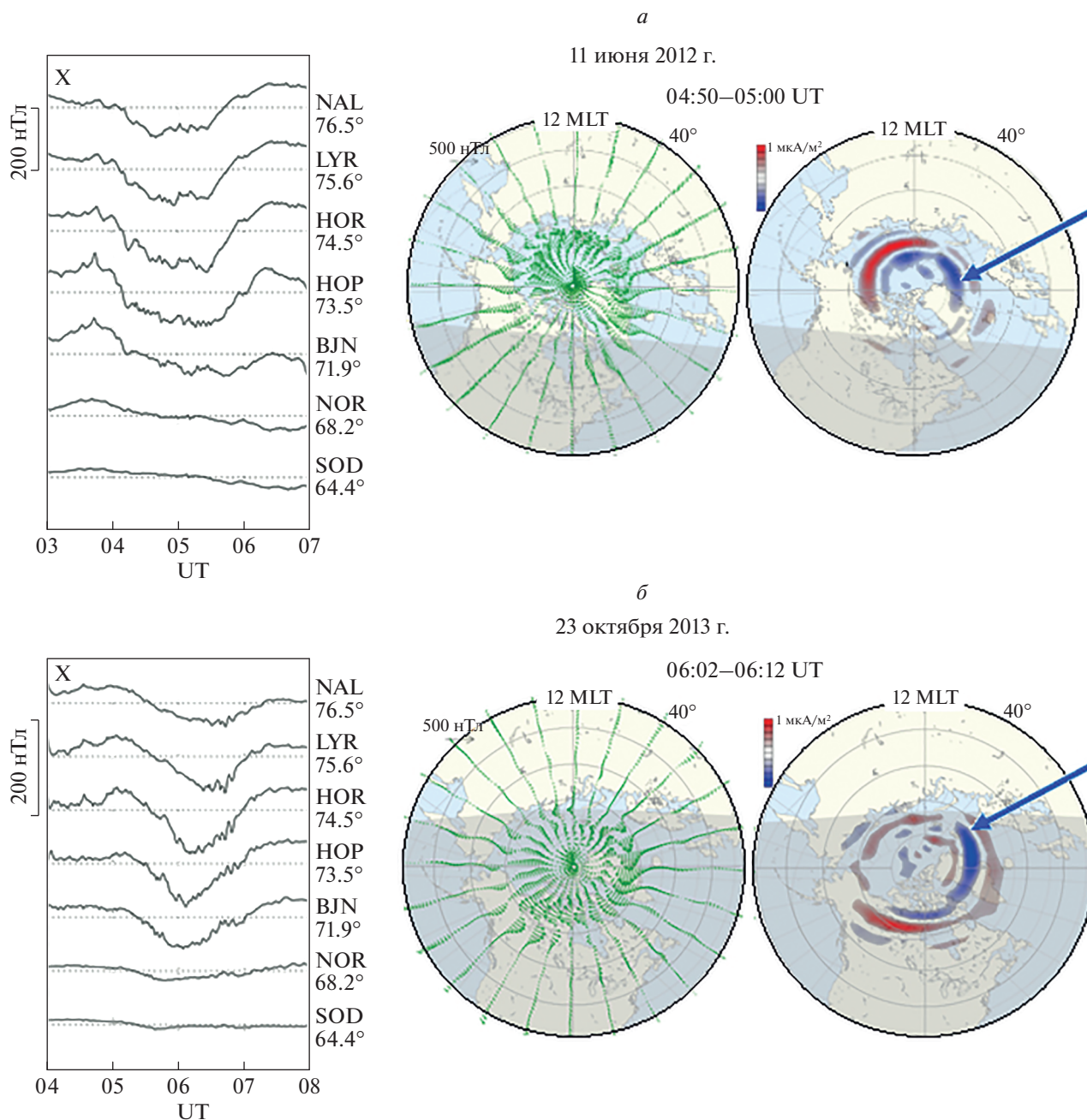


Рис. 2. Пример утренней полярной бухты (левая панель), глобальное распределение магнитной возмущенности и продольных токов (правые панели; красные – вытекающие токи, синие – втекающие токи) по данным проекта AMPERE (а). То же самое для утренней полярной бухты, являющейся азимутальным распространением ночной авроральной суббури (б).

плазмы, имеющая вид двух-вихревой структуры [16] с центрами вихрей в утреннем и вечернем секторах, и усиливающаяся с ростом ММП южного направления. Длительные периоды (несколько часов) устойчивого состояния южного ММП способствуют непрерывному поступлению энергии в хвост магнитосферы и установлению режима так называемой “стационарной конвекции” (“Steady Magnetospheric convection” – SMC), обсуждаемой во многих работах, например, [17–19]. Отдельные ее интенсификации были названы “конвективной бухтой” [20].

Имеются существенные различия между классической магнитосферной суббурей и конвективной бухтой [20–23]. В отличие от конвективной бухты с пологим началом, “классическая” суббу-

ри имеет вид двух-вихревой структуры [16] с центрами вихрей в утреннем и вечернем секторах, и усиливающаяся с ростом ММП южного направления. Длительные периоды (несколько часов) устойчивого состояния южного ММП способствуют непрерывному поступлению энергии в хвост магнитосферы и установлению режима так называемой “стационарной конвекции” (“Steady Magnetospheric convection” – SMC), обсуждаемой во многих работах, например, [17–19]. Отдельные ее интенсификации были названы “конвективной бухтой” [20].

ря характеризуется резким началом (substorm onset) с брейкапом полярных сияний, сопровождающимся формированием “токового клина суббури” (substorm current wedge), например, [23, 24], представляющего собой одно-вихревую ионосферную токовую систему *DP1* [24], наблюдаемую в околополуночном секторе, а также расширением активности к полюсу (poleward expansion) и т.д. Конвективная бухта представляет собой развитие двух-вихревой токовой системы *DP2* с центрами вихрей в утреннем (западный электроджет) и вечернем (восточный электроджет) секторах, как показано на схеме, представленной на рис. 3а, из работы [22].

Исследуемые утренние полярные магнитные бухты, наблюдаемые на Шпицбергене, имели пологое начало без значительного перемещения к полюсу, т.е. по морфологическим характеристикам они похожи на конвективные бухты. Для вывода, являются ли регистрируемые бухтообразные утренние полярные возмущения конвективными бухтами, было использовано планетарное распределение высокоширотной геомагнитной активности по данным AMPERE. Анализ этих данных показал, что большинство из рассмотренных 48 событий представляло собой сложную картину суперпозиции отдельных интенсификаций одновременно в различных временных секторах. Удалось выделить всего 5 “чистых” случаев, когда возмущения наблюдались одновременно только в утреннем и послеполуденном секторах, типичных для усиленной конвекции, как на схеме на рис. 3а, и отсутствовали в ночном секторе. Карта планетарного распределения высокоширотных магнитных возмущений во время одного из таких событий 17 июня 2013 г. приведена на рис. 3а справа, а соответствующая магнитограмма IMAGE на рис. 4а.

Это распределение полностью соответствует схеме планетарного распределения электроджетов во время конвективной бухты (левый график на рис. 3а), когда в утреннем секторе развивается западный электроджет (отрицательная магнитная бухта), а в послеполуденном – восточный электроджет (положительная магнитная бухта). На рис. 3а также показано, что в этот день отрицательные значения B_z -компоненты ММП (т.е. ММП южного направления) наблюдались в течение нескольких часов до обсуждаемой утренней суббури, что типично для конвективной бухты [19, 20, 22].

Суперпозиция разных источников

Анализ данных наблюдений показал, что большая часть (32 события из 48) утренних полярных отрицательных магнитных бухт являлась супер-

позицией возмущений, вызванных взаимодействием ночных суббуревых и конвективных явлений, разделение которых является очень сложной, не всегда решаемой проблемой, особенно в возмущенных условиях. На рис. 3б приведен пример одного из таких сложных случаев (7 декабря 2015 г.), когда на картах AMPERE одновременно регистрировались геомагнитные возмущения в утреннем, вечернем и послеполуденном секторах. На карте AMPERE на рис. 3б видно, что в дополуночном секторе западный электроджет сопровождался интенсивным восточным электроджетом на более низких широтах, что типично для токового клина суббури.

Это событие наблюдалось во время прохождения высокоскоростного потока солнечного ветра, скорость солнечного ветра была ~600–650 км/с, был зарегистрирован и скачок динамического давления. Все это, возможно, и привело к развитию такого сложного события, которое можно представить, как суперпозицию магнитных возмущений, вызванных взаимодействием ночных суббуревых и конвективных явлений.

Данный пример был выбран еще и потому, что в это время низкоапогейный (~830 км) спутник DMSP F16 [25], измеряющий потоки высыпавшихся электронов и протонов, пересекал ионосферные высоты над Шпицбергом в начале развития там утренней полярной бухты. На рис. 3б нисходящая часть пролета показана схематически, спутник пересекал сначала область втекающих продольных токов (показаны синим цветом), а затем область вытекающих токов (показана красным). Спектрограммы высыпавшихся частиц, полученные на спутнике F16 (<http://sd-www.jhuapl.edu/Auroga/spectrogram>), показаны на рис. 3б. Видно, что в 05:45 UT, когда спутник пересек область с центром ~70° MLAT, соответствующую положению вытекающих продольных токов (средняя панель на рис. 3б), отмечалось значительное усиление высыпавшихся электронов.

Известно, например, [26], что формирование в ночном секторе трехмерного токового клина суббури, центральная часть которого соответствует меридиану начала взрывной фазы суббури, сопровождается появлением ночных среднеширотных положительных магнитных бухт. Объектом наших исследований являлись утренние полярные магнитные бухты, максимум появления которых отмечается в 08–09 MLT. Этот долготный сектор не спроецируется в хвост магнитосферы, где формируется токовый клин суббури. Поэтому и не удивительно, что сопоставление случаев появления утренних полярных бухт на сети IMAGE с одновременными геомагнитными наблюдениями на среднеширотных станциях Бельск (BEL,

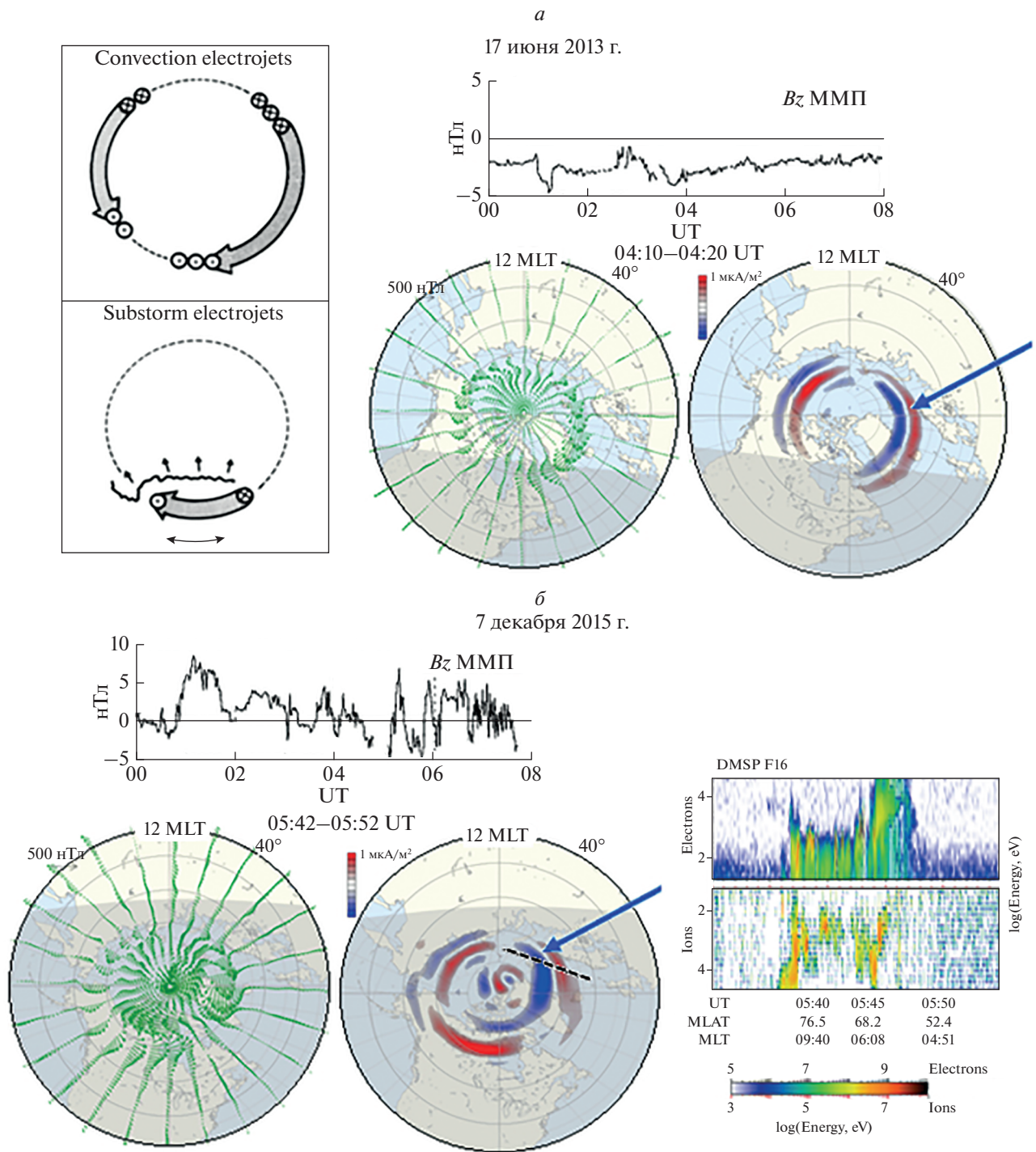


Рис. 3. Левая верхняя панель – схема распределения электроджета в случае конвективной бухты и классической суббури из работы [22]; пример глобального распределения магнитной возмущенности и продольных токов по данным AMPERE, а также вариации B_z ММП во время конвективной магнитной бухты (*a*); то же самое в случае сложного события утренней полярной бухты 7 декабря 2015 г. и измерение выпадающих электронов и ионов на низкоапогейном спутнике DMSF F16 (*b*).

47.7° MLAT) и Панагюриште (PAG, 42.6° MLAT), расположенных в долготном секторе сети IMAGE, показало отсутствие утренних положительных

среднеширотных бухт в подавляющем большинстве случаев. Не сопровождались среднеширотными эффектами и утренние конвективные бух-

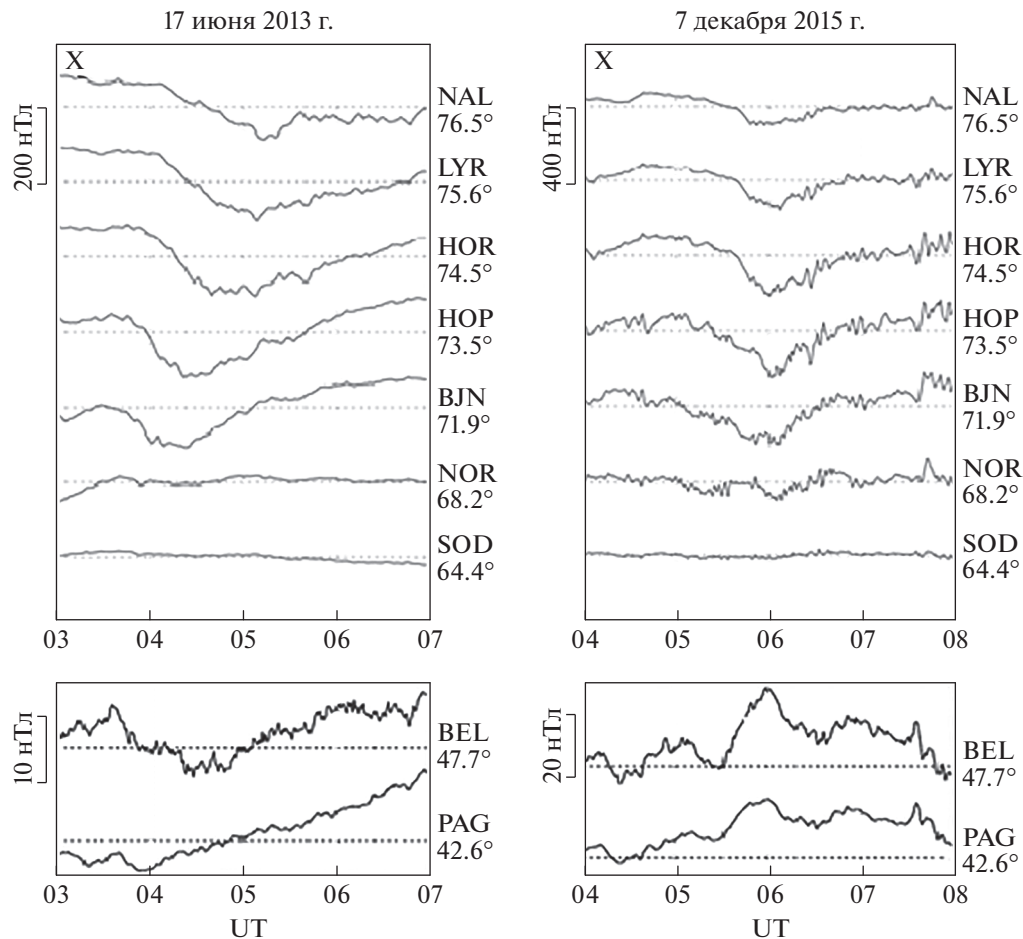


Рис. 4. Магнитограммы утренних полярных бур, рассмотренных на рис. 3 (17 июня 2013 и 7 декабря 2015), и их среднеширотные эффекты.

ты, пример такого события приведен на рис. 3а, отсутствие его среднеширотного эффекта показано на рис. 4а.

Однако, в отдельных событиях, когда во время утренних полярных бур на сети IMAGE, в ночном секторе по данным спутниковой регистрации AMPERE наблюдались суббуревые возмущения (усиленный западный электроджет, сопровождающийся развитием восточного электроджета на более низких широтах, что типично для токового клина суббури), утренние полярные буры, сопровождались появлением положительных магнитных бур в Бельске (обычно с амплитудой порядка 10–15 нТл) и в Панагюриште (порядка 6–10 нТл).

Одно из таких событий (7 декабря 2015 г.) показано на рис. 3б и 4б. Для этого события однозначно определить токовый клин по наземным данным трудно, так как мало наземных станций в нужном секторе. Однако, по данным SuperMAG видно, что в ночном секторе, близко к полуночи, над Канадой развивалась суббуря. Согласно дан-

ным наземных магнитометров, центральный меридиан этой суббури располагался близко к меридиану станции Ottawa (OTT, MLAT = 54.98°; MLON = 2.5°), западный край токового клина был на меридиане станции T16 Carson City (MLAT = 44.77°; MLON = -55.5°), восточный край точно определить не представляется возможным из-за отсутствия станций в нужном секторе (магнитограммы станций SuperMAG не показаны). По данным AMPERE (рис. 3б) также видно, что в это время в ночном секторе Земли к югу от западного электроджета наблюдался интенсивный восточный ток, что является типичной картиной развития токового клина суббури, развивающейся в ночном секторе. Он протягивается через всю Северную Америку, с запада до востока. И видно, что утренние буры (08–09 MLT) не связаны с этой суббурей, а представляют отдельное явление. На рис. 4б также видно, что во время утренней полярной магнитной буры на сети IMAGE, в средних широтах того же долготного сектора наблюдалась утренняя положительная

магнитная бухта, и трудно предположить, что она может быть связана с околополуночным токовым клином суббури.

Появление утренней положительной магнитной бухты на средних широтах во время развития утренней полярной (отрицательной) бухты в том же долготном секторе — явление довольно частое. Оно наблюдалось в 18 событиях в 2010–2017 гг., т.е. почти в половине сложных случаев утренних полярных бухт, зарегистрированных на Шпицбергене. Мы надеемся, что будущие детальные исследования этих событий позволят понять их природу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ наземных высокоширотных наблюдений на сети магнитометров IMAGE и сопоставление полученных результатов со спутниковой регистрацией AMPERE пространственного распределения планетарной геомагнитной активности показал, что источником выявленных утренних полярных магнитных бухт на Шпицбергене может быть пространственное затекание токов на утреннюю сторону ночных или дневных полярных электроджетов, а также генерация конвективных бухт. Наиболее типичной ситуацией является суперпозиция одновременного развития “классических” ночных суббурь и конвективных полярных бухт.

Авторы выражают благодарность создателям баз данных IMAGE (<http://space.fmi.fi/image/>) и AMPERE (<http://ampere.jhuapl.edu/>) за возможность их использования в работе. Исследования Дэспирак И.В., Клейменовой Н.Г., Громовой Л.И. и Любича А.А. выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Национального научного фонда Болгарии (проект № 20-55-18003); работа Громова С.В. — в рамках темы государственного задания ИЗМИРАН, Малышевой Л.М. — в рамках темы государственного задания ИФЗ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akasofu S.-I., Perreault P.D., Yasuhara F., Meng C.I. // J. Geophys. Res. 1973. V. 78. No. 31. P. 7490.
2. Lui A.T.Y., Anger C.D., Akasofu S.-I. // J. Geophys. Res. 1975. V. 80. No. 25. P. 3603.
3. Lui A.T.Y., Akasofu S.-I., Hones E.W. et al. // J. Geophys. Res. 1976. V. 81. No. 7. P. 1415.
4. Kamide Y., Perreault P.D., Akasofu S. // J. Geophys. Res. 1977. V. 82. No. 35. P. 5521.
5. Клейменова Н.Г., Антонова Е.Е., Козырева О.В. и др. // Геомагн. и аэроном. 2012. Т. 52. № 6. С. 785; Kleimenova N.G., Antonova E.E., Kozyreva O.V. et al. // Geomagn. Aeron. 2012. V. 52. No. 6. P. 746.
6. Safargaleev V.V., Kozlovsky A.E., Mitrofanov V.M. // Ann. Geophys. 2020. V. 38. No. 4. P. 901.
7. Дэспирак И.В., Любич А.А., Клейменова Н.Г. // Геомагн. и аэроном. 2014. Т. 4. № 5. С. 619; Despirak I.V., Lyubchich A.A., Kleimenova N.G. // Geomagn. Aeron. 2014. V. 54. No. 5. P. 575.
8. Дэспирак И.В., Клейменова Н.Г., Любич А.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2022. Т. 86. № 3. С. 340; Despirak I.V., Kleimenova N.G., Lyubchich A.A. // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2022 V. 86. No. 3. P. 266.
9. Despirak I.V., Lyubchich A.A., Kleimenova N.G. // J. Atmos. Sol. Terr. Phys. 2018. V. 177. P. 54.
10. Anderson B.J., Korth H., Waters C.L. et al. // Geophys. Res. Lett. 2014. V. 41. No. 9. P. 3017.
11. Клейменова Н.Г., Громова Л.И., Дремухина Л.А. и др. // Геомагн. и аэроном. 2015. Т. 55. № 3. С. 185; Kleimenova, N.G., Gromova, L.I., Dremukhina L.A. et al. // Geomagn. Aeron. 2015. V. 55. No. 2. P. 174.
12. Левитин А.Е., Клейменова Н.Г., Громова Л.И. и др. // Геомагн. и аэроном. 2015. Т. 55. № 6. С. 755; Levitin A.E., Kleimenova N.G., Gromova L.I. et al. // Geomagn. Aeron. 2015. V. 55. No. 6. P. 730.
13. Gromova L.I., Kleimenova N.G., Levitin A.E. et al. // Sun Geosphere. 2017. V. 12. No. 7. P. 125.
14. Friis-Christensen E., Kamide Y., Richmond A.D. et al. // J. Geophys. Res. 1985. V. 90. No. A2. P. 1325.
15. Gromova L., Gromov S.V., Kleimenova N.G. et al. // Sun Geosphere. 2019. V. 14. No. 7. P. 31.
16. Heppner J.P. // J. Geophys. Res. 1977. V. 72. No. 7. P. 11115.
17. Yahnin A.G., Malkov M.V., Sergeev V.A. et al. // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. P. 4039.
18. Sergeev V.A., Pellinen R.J., Pulkkinen T.I. // Space Sci. Rev. 1996. V. 75. P. 551.
19. Kissinger J., McPherron R.L., Hsu T.-S. et al. // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. Art. No. A119.
20. Pytte T., McPherron R.L., Hones E.W. et al. // J. Geophys. Res. 1978. V. 83. P. 663.
21. Sergeev V.A., Kubyschkina M.V., Liou K. et al. // J. Geophys. Res. 2001. V. 106. No. A9. Art. No. 18843.
22. Baumjohann W. // Adv. Space Res. 1983. V. 2. No. 10. P. 55.
23. McPherron R.L., Russell C.T., Aubry M.P. // J. Geophys. Res. 1973. V. 78. No. 16. P. 3131.
24. Rostoker G., Akasofu S.-I., Foster J. et al. // J. Geophys. Res. 1980. V. 85. P. 1663.
25. Redmon R.J., Denig W.F., Kilcommons L.M., Knipp D.J. // J. Geophys. Res. Space Phys. 2017. V. 122. P. 9056.
26. McPherron R.L., Chu X. // J. Geophys. Res. Space Phys. 2018. V. 123. No. 4. P. 2831.

Morning geomagnetic bays at polar latitudes and their magnetospheric sources

**N. G. Kleimenova^{a,*}, I. V. Despirak^b, A. A. Lubchich^b, L. M. Malysheva^a,
L. I. Gromova^c, S. V. Gromov^c**

^aSchmidt Institute of Physics of the Earth, Moscow, 123995 Russia

^bPolar Geophysical Institute, Apatity, 184209 Russia

^cPushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation, Moscow, 108840 Russia

**e-mail: ngk1935@yandex.ru*

Morning polar bay-like magnetic disturbances, observed at latitudes above 70° MLAT in the absence of simultaneous geomagnetic activity at lower latitudes, have been studied. It is shown that such disturbances could be caused by the spatial expansion on the morning side of both nighttime substorms and daytime polar magnetic bays as well as the generation of convective magnetic bays. The most typical is the simultaneous development of nighttime substorms and convective polar bays. It is shown that individual events of morning polar magnetic bays, observed during the development of nighttime substorms, can be accompanied by mid-latitude positive morning magnetic bays.