

УДК 523.31-853:523.62.726

МАГНИТНЫЕ СУББУРИ И СИЯНИЯ В ПОЛЯРНЫХ ШИРОТАХ ШПИЦБЕРГЕНА: СОБЫТИЯ 17 ДЕКАБРЯ 2012 ГОДА

© 2022 г. И. В. Дэспирак¹*, Н. Г. Клейменова², А. А. Любчик¹, Л. М. Малышева², Л. И. Громова³, А. В. Ролдугин¹, Б. В. Козелов¹

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Полярный геофизический институт, Апатиты, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

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

*E-mail: despirak@gmail.com

Поступила в редакцию 15.10.2021 г.

После доработки 05.11.2021 г.

Принята к публикации 22.11.2021 г.

По данным магнитометров сетей SuperMAG и IMAGE, наблюдениям сияний в обсерватории Баренцбург (арх. Шпицберген) и данным спутников проекта AMPERE проведен сравнительный анализ развития двух полярных суббурь, наблюдаемых на Шпицбергене 17 декабря 2012 г. Показано, что сложное явление суперпозиции вечерней полярной суббури и полярной экспансии западного края электроджета ночной авроральной суббури отличалось от “типичной” ночной полярной суббури по формам полярных сияний, распределению продольных токов и среднеширотным эффектам.

DOI: 10.31857/S0367676522030097

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что суббури могут наблюдаться не только в авроральных, но и на очень высоких геомагнитных широтах ($>70^\circ$ MLAT) [1–4]. Согласно динамике аврорального овала, это возможно в двух случаях: (1) в возмущенные периоды, когда авроральный овал сильно расширяется, и возмущения наблюдаются от низких до высоких широт; (2) во время спокойных условий, когда авроральный овал сжат и сдвинут в высокие широты [5]. В первом случае наблюдаются суббури на расширенном овале (“расширенные” суббури), ранее они назывались также “высокоширотными” [6–9]. Во втором случае наблюдаются так называемые “суббури на сжатом овале” [10, 11]. Морфологические характеристики таких суббурь, их связь с геомагнитными пульсациями P_i2 и полярными сияниями подробно рассмотрены в работе [12], где для их обозначения предложен термин “полярные” суббури.

Были также проведены исследования зависимости появления таких суббурь от солнечной активности, магнитных бурь, крупномасштабной структуры солнечного ветра [13–15]. Показано, что полярные суббури наблюдались при низкой скорости солнечного ветра после прохождения

высокоскоростного рекуррентного потока или во время медленного потока солнечного ветра, в небуревых условиях или на поздней восстановительной фазе геомагнитной бури. В работе [16] было показано, что полярная суббуря имела некоторые особенности, нехарактерные для классической суббури – начало на полярной границе овала между втекающим и вытекающим продольным током, развитие сияний в форме аврорального факела и крупномасштабной спиральной структуры и т.д. Таким образом, можно сказать, что изучение полярных суббурь только началось, и необходимы дальнейшие исследования.

Целью нашей работы является анализ суббуревых возмущений 17 декабря 2012 г. (вечернего в ~ 16 – 17 UT и околополуночного в $\sim 21:30$ UT), наблюдавшихся на арх. Шпицберген (геомагнитная полночь в ~ 21 UT), и сопровождающих их полярных сияний.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Исследование проводилось на основе анализа данных наземных наблюдений на глобальной сети магнитометров SuperMAG (<http://supermag.jhuapl.edu/>) [17], меридиональной скандинавской сети

станций IMAGE (<http://space.fmi.fi/image/>) [18], спутниковых данных проекта AMPERE (Active Magnetosphere and Planetary Electrodynamics Response Experiment, <http://www.ampere.jhuapl.edu>) и данных приборов Полярного геофизического института, установленных в обсерватории Баренцбург на архипелаге Шпицберген (BAV, 75.6° MLAT). Развитие магнитной суббури контролировалось с помощью карт мгновенного глобального пространственного распределения западного электроджета, построенных по данным сети SuperMAG, а также по картам распределения магнитных возмущений в ионосфере (на высоте 680 км), полученным по данным спутников связи системы Iridium в рамках проекта AMPERE, и продольных токов, вычисленных по этим наблюдениям. Проект AMPERE включает одновременную магнитную регистрацию на 66 спутниках, на 12 меридиональных профилях [19, 20]. Карты строятся через каждые 2 мин с усреднением по 10 мин. Для изучения динамики сияний мы использовали кеограммы в направлении север–юг и выбранные полнокадровые изображения камеры полного обзора неба (<http://aurora.pgia.ru:8071/>). Геомагнитные пульсации Pi1B [21, 22] наблюдались с помощью индукционного магнитометра, расположенного в Баренцбурге. Исползованные данные представляют собой спектрограммы в диапазоне частот от 0.01 до 3 Гц. Условия в солнечном ветре и межпланетном магнитном поле (ММП) определялись с помощью 1 мин данных CDAWeb OMNI (<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>).

Для анализа были выбраны два случая суббуревых возмущений, наблюдавшихся над архипелагом Шпицберген 17 декабря 2012 г., когда были одновременные наблюдения на магнитометрах и камерах всего неба. Межпланетные условия с 05 до 24 UT 17 декабря 2012 г. показаны на рис. 1а. На рис. 1б показаны вариации магнитного поля с 14 до 24 UT для станций сети IMAGE (вверху) и станций Диксон (DIK, 69.3° MLAT) и Тикси (TIK, 66.7° MLAT) (внизу). Черным треугольником отмечена полночь, станции IMAGE находились в вечернем секторе, а DIK и TIK – в полуденном. Исследуемые события отмечены вертикальными красными линиями (рис. 1а) или овалами (рис. 1б). Перед их появлением наблюдались две ударные волны (прямая и обратная), вызвавшие скачки в параметрах солнечного ветра. За ~5–6 ч до начала первого исследуемого возмущения был зарегистрирован небольшой высокоскоростной поток ($V \sim 500$ км/с) и повышение динамического давления от ~2 до ~5 нПа. Это, вероятно, и привело к развитию трех сильных авроральных суббурь с 09 до ~17 UT (SML ~ –1300, –1000 и –700 нТл).

Видно, что оба события были зарегистрированы в небуревых условиях ($SYM/H > -20$ нТл), при положительных значениях B_Z и B_Y ММП и невысокой

скорости солнечного ветра (~450 км/с). Первое событие началось при повышенных значениях магнитуды ММП ($B_T \sim 8$ нТл), скорости солнечного ветра ~460 км/с, и после поворота B_Z компоненты ММП от отрицательных к положительным значениям. Вторая полярная суббура происходила в более спокойных условиях: магнитуда магнитного поля уменьшилась до ~6 нТл, скорость солнечного ветра была более низкой (~400 км/с), B_Z компонента ММП положительна и не наблюдалось скачка в динамическом давлении. Надо отметить, что первое событие наблюдалось при $K_p = 2$, т.е. авроральный овал в это время был относительно возмущенным. Вторая суббура наблюдалась при очень спокойных условиях ($K_p = 0$), когда авроральный овал “сжат” и сдвинут к полюсу.

По магнитограммам IMAGE видно, что на станции Bear Island (BJN, ~71.9° MLAT) возмущения начались около 16:10 UT и быстро распространялись к полюсу до станции Ny Alesund (NAL, ~76.6° MLAT), на более низких широтах отрицательных бухт не было. Это возмущение, по-видимому, представляло собой полярную экспансию (так называемый “poleward leap” [23]) западного края электроджета авроральной суббури, наблюдаемой в Тикси (TIK) и затем в Диксоне (DIK). На рис. 1б видно, что эта суббура началась на станции TIK около 15 UT. На станции DIK было зарегистрировано три интенсификации (~15:50, ~16:12; ~16:30 UT). В ~16:12 UT наблюдался короткий импульс ~–730 нТл, который, вероятно, и привел к увеличению амплитуды суббури в TIK и развитию “poleward leap”, а также проявился в вариациях SML-индекса (рис. 1а).

Во время второй суббури, в ~21:30 UT, на станциях DIK и TIK возмущений не наблюдалось, это была классическая полярная суббура, когда возмущения ~–200 нТл были зарегистрированы только в высоких широтах (от BJN до NAL).

НАБЛЮДЕНИЯ В БАРЕНЦБУРГЕ

На рис. 2 показаны данные камеры всего неба и индукционного магнитометра, расположенных в обсерватории Баренцбург (BAV) для интервалов 15:30–18:00 UT (слева) и 20–22 UT (справа): вариации X - и Z -компонент магнитного поля (а); спектрограммы в диапазоне частот от 0.01 до 3 Гц (б); кеограммы (в) и выбранные кадры камеры всего неба (г).

Во время первого события возмущение началось в ~16:10 UT, а в ~16:48 UT произошло резкое усиление амплитуды магнитной бухты (~–220 нТл), максимум которой был зарегистрирован около ~16:53 UT. В этот момент и Z -компонента изменила знак, т.е. наблюдался переход от положительных значений к отрицательным, что свидетельствует о том, что западный электроджет находился над Ба-

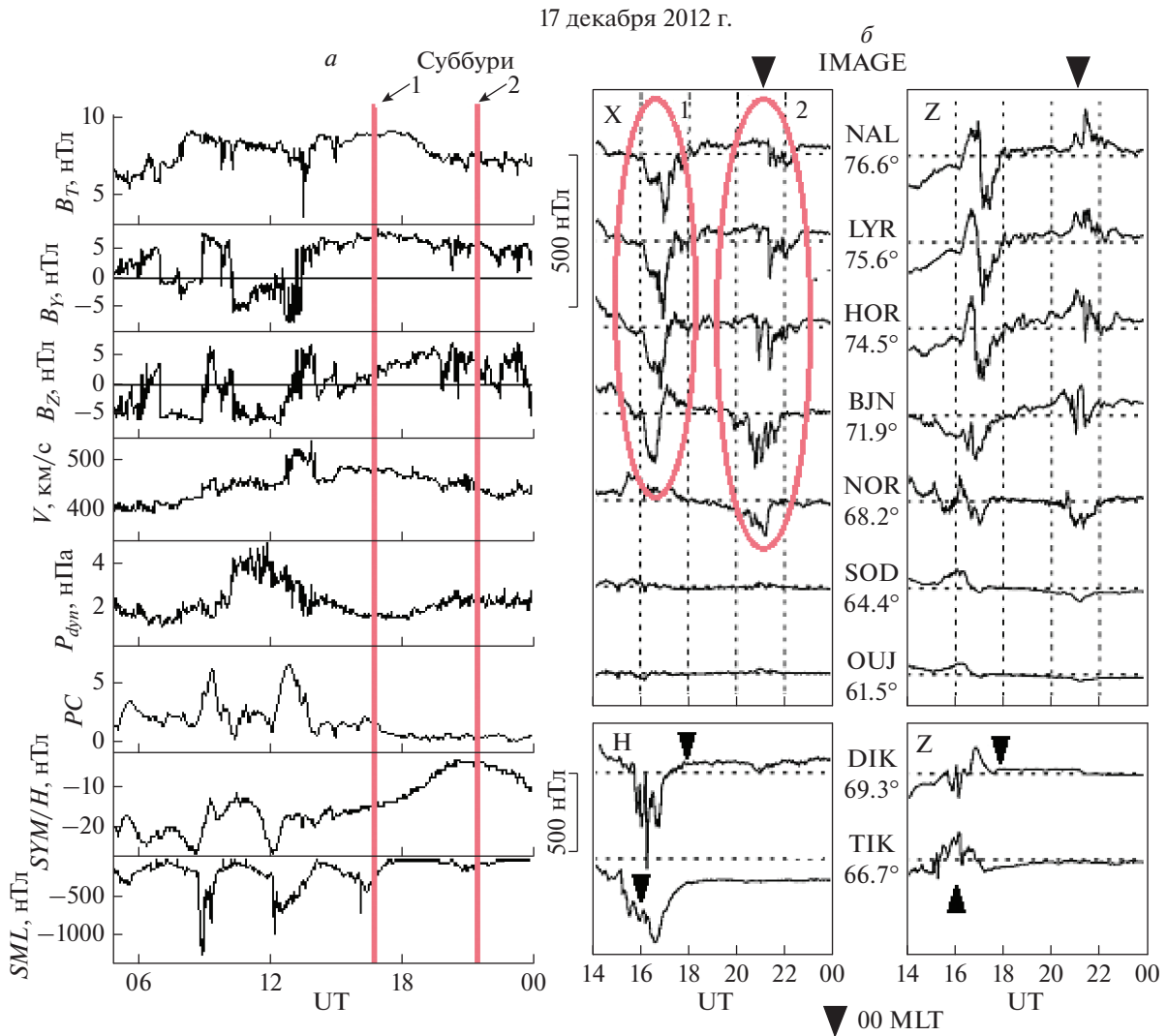


Рис. 1. Межпланетные параметры и вариации наземного магнитного поля 17 декабря 2012 г.: параметры солнечного ветра и ММП, геомагнитные индексы с 05 до 24 UT. Сверху вниз: магнитуда магнитного поля B_T , B_Y и B_Z -компоненты ММП, скорость и динамическое давление солнечного ветра, геомагнитные индексы PC , SYM/H и SML (а); вариации X - и Z -компонент магнитного поля наземных магнитных станций по сети IMAGE (верхняя панель) и H - и Z -компонент станций Диксон и Тикси (нижняя панель) с 14 до 24 UT 17 декабря 2012 г. Моменты наблюдения полярных суббурь обозначены вертикальными красными линиями (слева) и красными овалами (справа) (б).

ренцбургом. Геомагнитные пульсации Pi1B (0.08–3 Гц) начались в ~16:10 UT и состояли из нескольких пиков (~16:25, ~16:35, ~16:50 UT), максимум интенсивности пульсаций наблюдался во время третьего пика. Пики в пульсациях соответствуют трем минимумам в вариациях X -компоненты геомагнитного поля на станциях BJN-NAL (рис. 1б и 3а), и трем интенсификациям в полярных сияниях (рис. 2в и 2г). Сияния появились на южной границе поля зрения камеры всего неба в ~16:17 UT, затем наблюдалось их усиление и расширение по азимуту, в ~16:24–16:27 UT было небольшое движение к полюсу, но это происходило далеко от зенита. Этот период соответствует по времени первому пику пульсаций Pi1B. Далее, на южной границе

кадра в ~16:30 UT возникла новая интенсификация сияний, развитие проходило в виде спирали, которая в ~16:35 UT достигла максимума. Это соответствует второму пику пульсаций Pi1B. В ~16:41 UT вновь произошло усиление сияний, изменение их формы и постепенное движение к полюсу, а после ~16:45 UT сияния быстро распространялись к полюсу и прошли через зенит станции.

Вторая суббуря началась в околополуночном секторе с небольшого возмущения (~–40 нТл) в ~20:50 UT, и в ~21:20 UT была зарегистрирована магнитная бухта интенсивностью ~–140 нТл, в ~21:35 UT наблюдалась небольшая интенсификация. В Z -компоненте в это время наблюдались положительные бухты, что свидетельствует о том, что

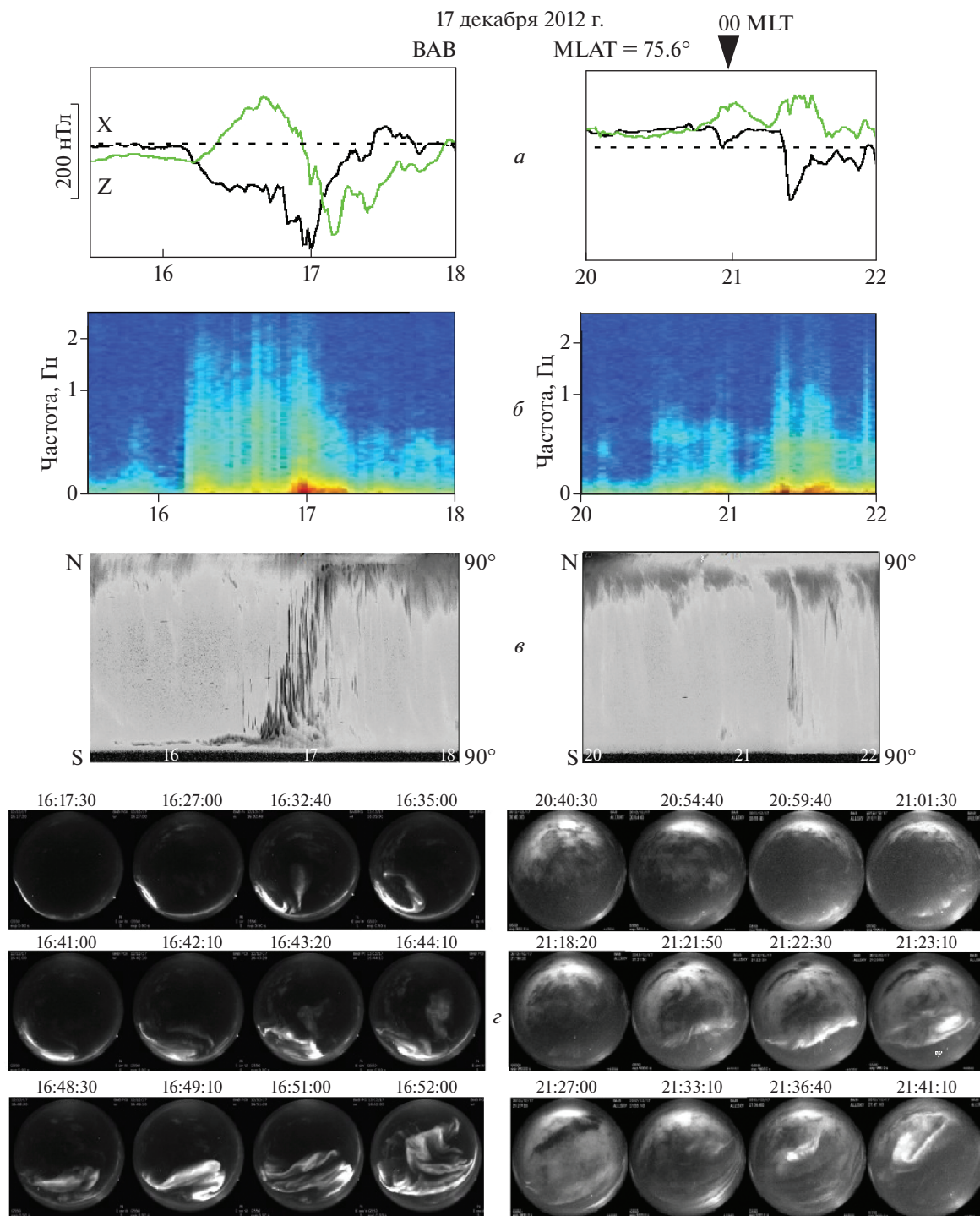


Рис. 2. Данные обсерватории Баренцбург за 17 декабря 2012 г. во время первой суббури, с 15:30 до 18:00 UT (слева) и второй суббури, с 20 до 22 UT (справа): вариации X - и Z -компонент магнитного поля (a); спектрограммы в диапазоне частот от 0.01 до 3 Гц (b); кеограммы, полученные по данным камеры всего неба (θ) и выбранные кадры камеры всего неба с 16:17:30 до 16:52:00 UT и с 20:40:30 до 21:41:10 UT (ε).

западный электроджет находился южнее ВАВ. Пульсации $Pi1B$ начались в $\sim 20:40$ UT, и также, как и в первом случае, наблюдалось несколько пиков (в $\sim 20:55$, $\sim 21:20$, $\sim 21:35$ UT), что соответствует трем интенсификациям в вариациях X -компоненты гео-

магнитного поля в ВАВ (рис. 2а) и на станциях ВJN-NAL (рис. 1б и 4а), и интенсификациям в полярных сияниях (рис. 2г). К сожалению, в это время в Баренцбурге была облачность, поэтому динамику сияний сложно проследить точно. Си-

яния появились на южной границе поля зрения камеры всего неба в $\sim 20:40$ UT, далее наблюдалось их расширение по азимуту и движение к полюсу до $\sim 21:01:30$ UT. Это происходило в южной части кадра, что подтверждает то, что в это время суббуря развивалась южнее ВАВ. В $\sim 21:18:20$ UT началось новое движение дуг к полюсу до $\sim 21:23$ UT, когда сияния почти достигли зенита кадра. В $\sim 21:27$ UT наблюдалось также усиление дуг и далее их бросок к полюсу (брейкап), в этом случае дуги прошли через зенит станции дальше на север. Но в это время наблюдениям мешала облачность, видно только, что в $\sim 21:33:10$ UT дуги уже прошли через зенит станции, далее продолжали двигаться к северу, а в $\sim 21:41$ UT к северу от зенита наблюдалась спиральная структура.

МАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ПЕРВОГО И ВТОРОГО СОБЫТИЯ

Развитие магнитных возмущений по данным сетей IMAGE, SuperMAG и спутникам AMPERE представлено на рис. 3 и 4. На рис. 3а показаны вариации X -компоненты магнитного поля с 15 по 19 UT 17 декабря 2012 г. на станциях IMAGE (NOR – NAL, от $\sim 68.2^\circ$ до $\sim 76.6^\circ$ MLAT). Видно, что в $\sim 16:10$ UT на станциях BJN – NAL началась отрицательная бухта (~ -80 нТл), начало которой совпало по времени с появлением большого отрицательного импульса на станции DIK (рис. 1б) и с резким усилением интенсивности суббури в околополуночном секторе (станция TIK). В это время наблюдался также поворот B_Z ММП к северу, что обычно приводит к сжатию аврорального овала, поэтому появление высокоширотных магнитных возмущений на меридиане IMAGE можно рассматривать как западное расширение электроджета ночной суббури и развитие так называемого “poleward leap” [23] на западном крае электроджета. Максимальные амплитуды наблюдались около $16:30$ UT в BJN.

На рис. 3а видно, что в $\sim 16:40$ UT на станциях NOR – NAL, т.е. полярнее BJN, произошло резкое скачкообразное усиление амплитуды бухты (до ~ -220 нТл), что свидетельствует о начале нового возмущения, которое по морфологическим характеристикам может быть отнесено к полярной суббуре [12]. Во-первых, это возмущение наблюдались при B_Z ММП > 0 и только на широтах выше 72° MLAT (NOR – NAL), а на более низких широтах этой бухты вообще не было. Во-вторых, на рис. 3д видно, что начало бухты и ее дальнейшее развитие сопровождалось всплеском интенсивных геомагнитных пульсаций Pi2, что не типично для “poleward leap” [23], но типично для полярной суббури [12]. В-третьих, начало возмущения (onset) сопровождалось не только быстрым резким ростом бухты, но и резким возрастанием амплитуды гео-

магнитных пульсаций Pi1B (рис. 2б) и Pi2 (рис. 3д), а также уярчением сияний (рис. 2з) и их быстрому перемещению к полюсу (рис. 2в), что типично для полярной суббури [12]. Данные регистрации на системе спутников AMPERE свидетельствуют о появлении в этой области интенсивных вытекающих продольных токов (рис. 3в).

Таким образом, новое магнитное возмущение, начавшееся около $16:40$ UT, можно рассматривать как полярную суббурю, вызванную усилением продольных токов в области “poleward leap” на западном крае электроджета ночной суббури.

В первом событии положительные магнитные бухты были зарегистрированы в X -компоненте в субавроральных (~ 10 – 15 нТл, эти данные здесь не приводятся) и средних широтах (~ 20 – 25 нТл, рис. 3з). Отметим, что в Y -компоненте поля положительные бухты были более интенсивными: ~ 40 нТл на станциях Борок (BOX, 54.5° MLAT) и Москва (MOS, 51.8° MLAT) и ~ 30 нТл на станциях Belsk (BEL, 47.7° MLAT) и Panagyurishte (PAG, 42.7° MLAT), что свидетельствует об их нахождении западнее меридиана развития суббури.

Глобальная картина магнитных возмущений представлена на рис. 3б, где показаны карты мгновенного распределения магнитных векторов по данным сети SuperMAG во время максимума бухты в BJN (рис. 3а) и на рис. 3в, где показаны распределения магнитных возмущений и вычисленных по ним продольных токов, полученные на спутниках AMPERE во время начала первой полярной суббури. На картах SuperMAG видно, что в $16:30$ UT, т.е. во время максимума ночной суббури в TIK (рис. 1б) и интенсивного электроджета в авроральных широтах Сибири развитие западного электроджета в вечернем секторе происходило в узкой области высоких широт Скандинавии. Эти возмущения можно отнести к poleward leap ночного западного электроджета.

Магнитные возмущения во время начала полярной суббури, показанные на картах AMPERE (рис. 3е), характеризуются появлением вихря вблизи Шпицбергена, что соответствует резкому локальному усилению продольных токов в этой области, что, вероятно, и явилось источником полярной суббури.

На рис. 4 показано развитие магнитных возмущений во время второй, типичной полярной суббури, наблюдаемой при B_Z ММП > 0 . Подобно первой суббуре, возмущение состояло из нескольких пиков, соответствующих разным интенсификациям (рис. 4а). В $\sim 20:35$ UT появилась отрицательная бухта в BJN и Nordkapp (NOR, 68.2° MLAT), которая распространялась к полюсу, в $\sim 20:50$ – $20:55$ UT бухта появилась в HOR, LYR, NAL. Вторая интенсификация началась в $\sim 21:15$ UT в BJN, и к $\sim 21:20$ UT появилась на Hornsund (HOR, 74.5° MLAT), Longyearbyen (LYR, 75.6° MLAT), NAL,

17 декабря 2012 г. Суббурия-1

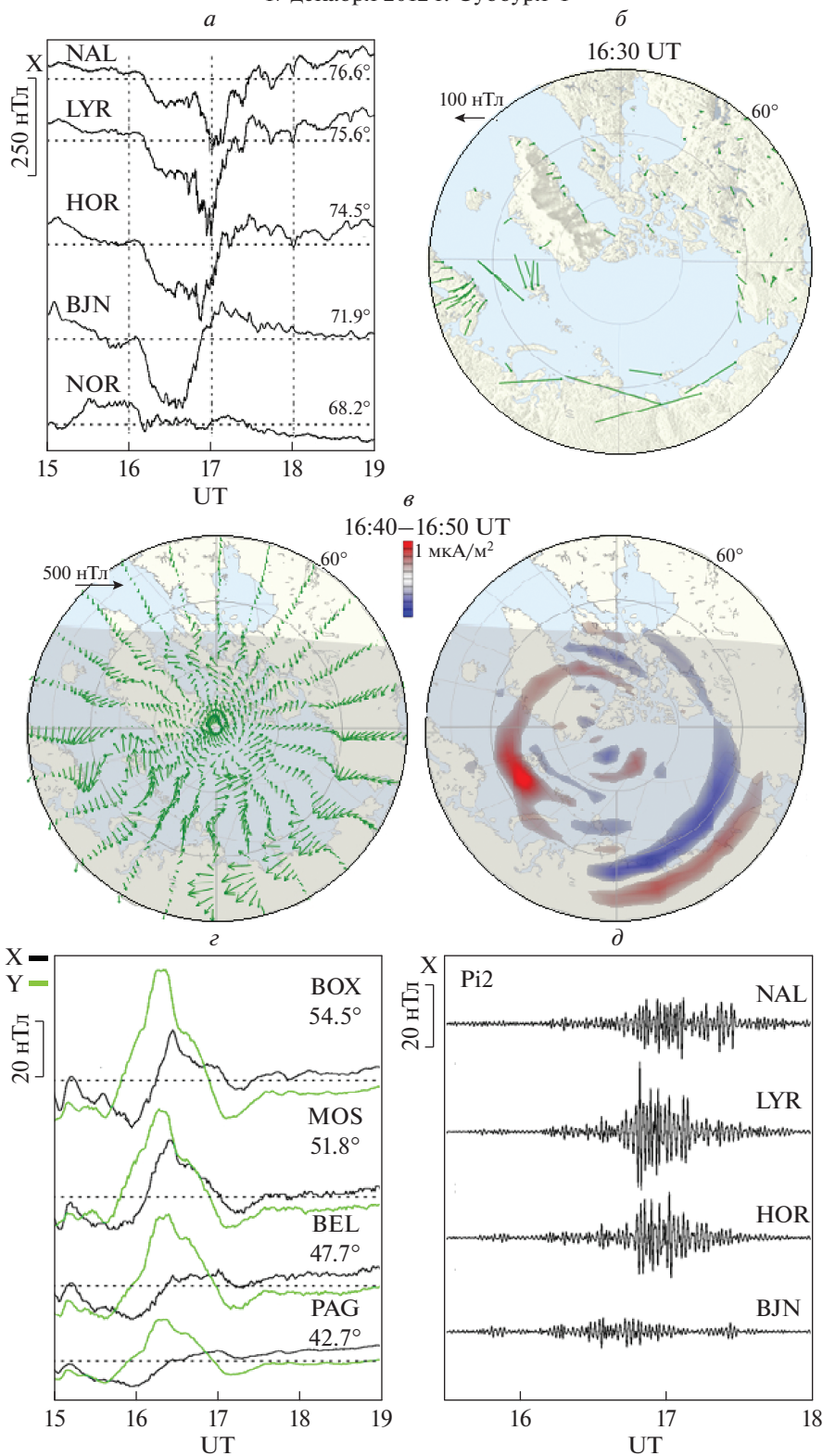


Рис. 3. Вариации X - и Y -компонент геомагнитного поля некоторых наземных магнитных станций и глобальные карты магнитных возмущений для периода первого сложного возмущения, с 15 по 19 UT 17 декабря 2012 г.: по сети IMAGE (а) и по сети SuperMAG (з); мгновенная (в 16:30 UT) карта магнитных векторов, построенная по данным SuperMAG (б); карты распределения магнитных возмущений и продольных токов на высоте спутников AMPERE для 16:40–16:50 UT (в); геомагнитные пульсации Pi2 для высокоширотных станций IMAGE (д). Рядом с названием станций приведены их геомагнитные координаты (MLAT). На картах полночь находится внизу рисунка, полдень — вверху, втекающий ток показан синим цветом, вытекающий — красным.

17 декабря 2012 г. Суббуря-2

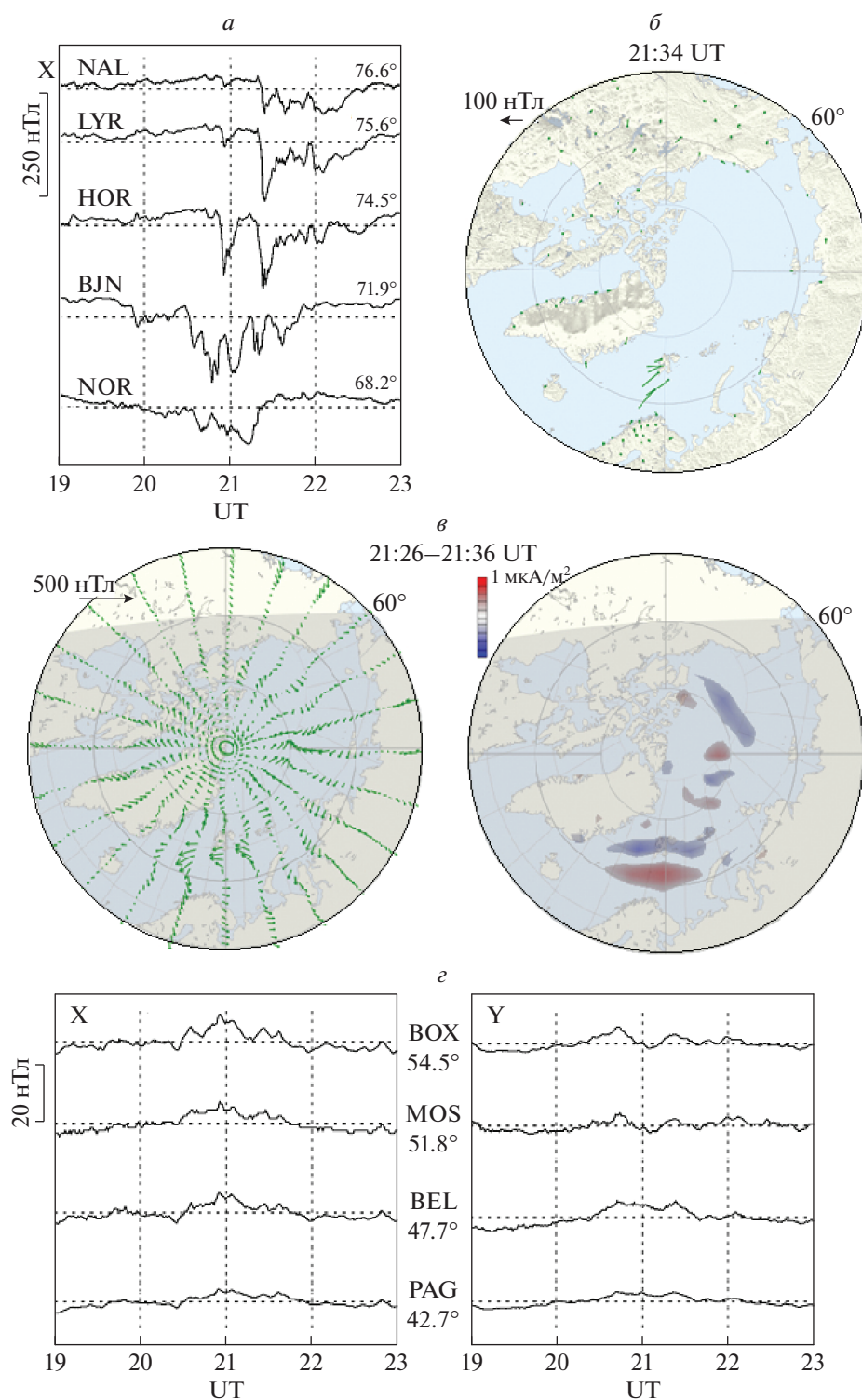


Рис. 4. Вариации X- и Y-компоненты геомагнитного поля некоторых наземных магнитных станций и глобальные карты магнитных возмущений для периода второй суббури, с 19 по 23 UT 17 декабря 2012 г.

т.е. наблюдалась типичная полярная суббуря. На станциях субавроральной зоны (эти данные здесь не приводятся) наблюдались положительные маг-

нитные бухты (~20–30 нТл), которые были почти вдвое интенсивнее, чем в первой суббуре. Однако, на средних широтах в BOX – BEL (рис. 4д) ампли-

туды положительных бухт были много меньше, не превышали ~ 8 нТл в X -компоненте и ~ 5 нТл в Y -компоненте, а на более низких широтах (PAG) возмущений практически не было (рис. 4з).

Глобальная картина магнитных возмущений представлена на рис. 4б и 4в. На карте SuperMAG в 21:34 UT видно, что западный электроджет наблюдался в очень узкой области над Шпицбергом. Анализ карт AMPERE за интервал с 20:00 до 22:00 UT показал, что в $\sim 21:20$ UT разнесенные по долготе втекающие и вытекающие продольные токи наблюдались в ограниченной области на более низких широтах (соответствующих VJN) (рисунок не показан). По картам AMPERE для интервала 21:26–21:36 UT (рис. 4б) видно, что в это время над Шпицбергом наблюдался западный электроджет, текущий между втекающим (синим) и вытекающим (красным) продольными токами.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работе рассмотрены два суббуревых возмущения с началом $\sim 16:40$ UT и $\sim 21:30$ UT, наблюдавшиеся над арх. Шпицберген 17 декабря 2012 г. при B_Z ММП > 0 с морфологическими характеристиками, типичными для полярных суббурь.

Однако магнитные возмущения первой полярной суббури, начавшейся около 16:40 UT, представляли собой результат суперпозиции вечерних возмущений в области “poleward leap”, связанных с ночной авроральной суббурей над Сибирью, и вновь возникшего возмущения полярной суббури, вызванной локальным усилением втекающих продольных токов вблизи Шпицбергена и соответствующей интенсификацией геомагнитных пульсаций $Pi2$ и $Pi1B$. Это привело к появлению сложных форм полярных сияний. Надо отметить, что отдельные подобные случаи ранее рассматривались в некоторых работах [12, 16]. Так, в работе [16] было показано, что в такой ситуации сияния имели форму крупномасштабной спиральной структуры.

Вторая суббуря (в $\sim 21:30$ UT) была классической полярной суббурей, когда возмущения регистрировались только в высоких широтах и необычных форм сияний не наблюдалось.

Необычным было и то, что во время полярной суббури, наблюдаемой в вечернем секторе, в этой области был зарегистрирован интенсивный вихрь в наземных магнитных вариациях и соответствующий локальный всплеск сильного вытекающего тока при очень слабом втекающем токе, что свидетельствует об интенсивном высыпании электронов. В то время как для “типичной” ночной суббури наблюдался западный электроджет, текущий между втекающим (синим) и вытекающим (красным) токами.

Суббури отличались и по их среднеширотным эффектам. Так, во время вечерней суббури положительные бухты были зарегистрированы как на субавроральных, так и на средних широтах, вплоть до станции PAG (Болгария), и амплитуда положительных бухт на средних широтах была больше, чем на субавроральных. Подобное появление положительных бухт в большом интервале широт отмечалось и в работе [16] во время полярной суббури, развивающейся на фоне предшествующей ей авроральной активности.

Во время второй суббури ($\sim 21:30$ UT) положительные бухты наблюдались, в основном, в субавроральных широтах и почти отсутствовали на средних широтах. Мы полагаем, что различия в появлении среднеширотных эффектов двух полярных суббурь связаны, во-первых, с наличием предшествующей активности перед ними и, во-вторых, с небольшой амплитудой второй полярной суббури и сильным смещением ее “центра” в высокие широты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен сравнительный анализ двух полярных суббурь, наблюдавшихся на архипелаге Шпицберген при B_Z ММП > 0 : типичной полярной суббури, зарегистрированной вблизи полуночи на сжатом авроральном овале при предшествующих спокойных условиях, и вечерней полярной суббури, вызванной усилением продольных токов в области “poleward leap” на западном крае электроджета ночной суббури в авроральных широтах. Показано, что в таких сложных условиях полярная суббуря отличалась от типичной полярной суббури по нескольким признакам – формам сияний, продольным токам и среднеширотным эффектам.

Авторы выражают благодарность создателям баз данных OMNI (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov/>), SuperMAG (<http://supermag.jhuapl.edu/>), IMAGE (<http://space.fmi.fi/image/>) и AMPERE (<http://www.ampere.jhuapl.edu>) за возможность их использования в работе. Работа Дэспирак И.В. и Любича А.А по анализу высокоширотных явлений выполнена в рамках темы государственного задания Полярного геофизического института; по анализу явлений на средних широтах – при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-55-18003-Болг_а). Работа Клейменовой Н.Г. выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-55-18003Болг_а). Работа Малышевой Л.М. выполнена в рамках темы государственного задания Института физики Земли. Работа Громовой Л.И. выполнена в рамках темы государственного задания ИЗМИРАН. Работа Ролдугина А.В. и Козелова Б.В. выполнена в рам-

ка темы государственного задания Полярного геофизического института.

Авторы благодарят анонимного рецензента за полезные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сергеев В.А., Яхнин А.Г., Дмитриева Н.П.* // Геомагн. и аэроном. 1979. Т. 19. № 6. С. 1121.
2. *Gussenhoven M.S.* // J. Geophys. Res. 1982. V. 87. No. A4. P. 2401.
3. *Despirak I.V., Lubchich A.A., Yahnin A.G. et al.* // Ann. Geophys. 2009. V. 27. No. 5. P. 1951.
4. *Дэспирак И.В., Любчик А.А., Бирнат Х.К., Яхнин А.Г.* // Геомагн. и аэроном. 2008. Т. 48. № 3. С. 297; *Despirak I.V., Lubchich A.A., Biernat H.K., Yahnin A.G.* // Geomagn. Aeron. 2008. V. 48. No. 3. P. 284.
5. *Feldstein Y.L., Starkov G.V.* // Planet. Space Sci. 1967. V. 15. No. 2. P. 209.
6. *Дмитриева Н.П., Сергеев В.А.* // Магнитосферн. иссл. 1984. № 3. С. 58.
7. *Nielsen E., Bamber J., Chen Z.-S. et al.* // Ann. Geophys. 1988. V. 6. No. 5. P. 559.
8. *Loomer E.I., Gupta J.C.* // J. Atm. Terr. Phys. 1980. V. 42. P. 645.
9. *Yahnin A.G., Despirak I.V., Lubchich A.A., Kozelov B.V.* // Proc. 7th Int. Conf. Substorms. (Levi, 2004). P. 31.
10. *Akasofu S.-I., Perreault P.D., Yasuhara F., Meng C.I.* // J. Geophys. Res. 1973. V. 78. No. 31. P. 7490.
11. *Lui A.T.Y., Akasofu S.-I., Hones E.W. Jr. et al.* // J. Geophys. Res. 1976. V. 81. No. 7. P. 1415.
12. *Клейменова Н.Г., Антонова Е.Е., Козырева О.В. и др.* // Геомагн. и аэроном. 2012. Т. 52. № 6. С. 785; *Kleimenova N.G., Kozyreva O.V., Malysheva L.M. et al.* // Geomagn. Aeron. 2012. V. 52. No. 6. P. 746.
13. *Дэспирак И.В., Любчик А.А., Клейменова Н.Г.* // Геомагн. и аэроном. 2014. Т. 54. № 5. С. 619; *Despirak I.V., Lyubchich A.A., Kleimenova N.G.* // Geomagn. Aeron. 2014. V. 54. No. 5. P. 575.
14. *Дэспирак И.В., Любчик А.А., Клейменова Н.Г.* // Геомагн. и аэроном. 2019. Т. 59. № 1. С. 3; *Despirak I.V., Lyubchich A.A., Kleimenova N.G.* // Geomagn. Aeron. 2019. V. 59. No. 1. P. 1.
15. *Despirak I.V., Lubchich A.A., Kleimenova N.G.* // J. Atm. Sol.-Terr. Phys. 2018. V. 177. P. 54.
16. *Safargaleev V.V., Kozlovsky A.E., Mitrofanov V.M.* // Ann. Geophys. 2020. V. 38. No. 4. P. 901.
17. *Newell P.T., Gjerloev J.W.* // J. Geophys. Res. 2011. V. 116. No. A12. Art. No. A12211.
18. *Viljanen A., Häkkinen L.* ESA publications SP-1198, 1997. P. 111.
19. *Anderson B.J., Takanashi K., Toth B.A.* // Geophys. Res. Lett. 2000. V. 27. No. 24. P. 4045.
20. *Clausen L.B., Baker J.B.H., Ruohoniemi J.M. et al.* // J. Geophys. Res. 2012. V. 117. No. A6. Art. No. A06233.
21. *Kangas J., Guglielmi A., Pokhotelov O.* // Space Sci. Rev. 1998. V.83. P. 435.
22. *Клейменова Н.Г.* Геомагнитные пульсации: Модели космоса. Т. 1. М.: МГУ, 2007. С. 511.
23. *Pytte T., McPherron R.L., Kivelson M.G. et al.* // J. Geophys. Res. 1978. V. 83. No. A11. P. 5256.

Magnetic substorms and aurora at the polar latitudes of Spitsbergen: events on December 17, 2012

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

^a Polar Geophysical Institute, Apatity, 184209 Russia

^b Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow, 123995 Russia

^c Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Moscow, 108840 Russia

*e-mail: despirak@gmail.com

According to the SuperMAG and IMAGE magnetometer data, aurora observations in Barentsburg (Spitsbergen archipelago), as well as data from the AMPERE satellites, a comparative analysis of the development of two polar substorms, observed at Spitsbergen, on December 17, 2012 was carried out. It is shown that the complex phenomenon of superposition of the evening polar substorm and the “poleward leap” of the western edge of the electrojet of the nighttime auroral substorm differed from the “typical” night polar substorm in the aurora forms, the distribution of the field-aligned currents, and mid-latitude effects.