

# МАГНИТНАЯ БУРЯ 23-24 МАРТА 2023 Г: ОСОБЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ВО ВРЕМЯ ГЛАВНОЙ ФАЗЫ

Л.И. Громова<sup>1</sup>, Н.Г. Клейменова<sup>2</sup>, С.В. Громов<sup>1</sup>,  
К.Х. Кананиди<sup>1</sup>, В.Г. Петров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия, <sup>2</sup>ИФЗ РАН, г. Москва, Россия

Интенсивная магнитная буря с минимальным значением  $SymH \sim -170$  нТл наблюдалась 23-24 марта 2023 года. Главная фаза бури началась в  $\sim 17:30$  UT 23 марта с резким поворотом ММП к югу и появлением устойчивого отрицательного градиента  $SymH$ . Развитие главной фазы происходило при уже сформировавшемся кольцевом токе на фоне мало меняющихся низкой скорости (420-490 км/с) и слабого динамического давления (2-3 нПа) солнечного ветра. При этом величина  $Bz$  компоненты ММП не изменялась в течение 9 часов, оставаясь равной  $\sim -15$  нТл. Магнитопауза приблизилась к Земле от 12 до 8  $Re$ , а затем и до 6  $Re$ . Во время главной фазы бури наблюдалось несколько периодов возрастания суббулевой активности, которые показывает  $AL$ -индекс, перед ними  $PC$ -индекс как индикатор возмущения в магнитосфере энергии солнечного ветра, значительно усиливается.

В данной работе представлен анализ геомагнитных возмущений, наблюдаемых 23 марта 2023 в начальный период главной фазы бури.

Использовались доступные к настоящему времени данные магнитометров сети Интермагнет, скандинавской сети IMAGE и среднеширотных станций ИЗМИРАН, расположенных в том же долготном секторе, что и меридиональный профиль станций IMAGE, а также магнитные наблюдения 66-ти одновременных ионосферных спутников проекта AMPERE.

23 - 24 марта 2023 г.

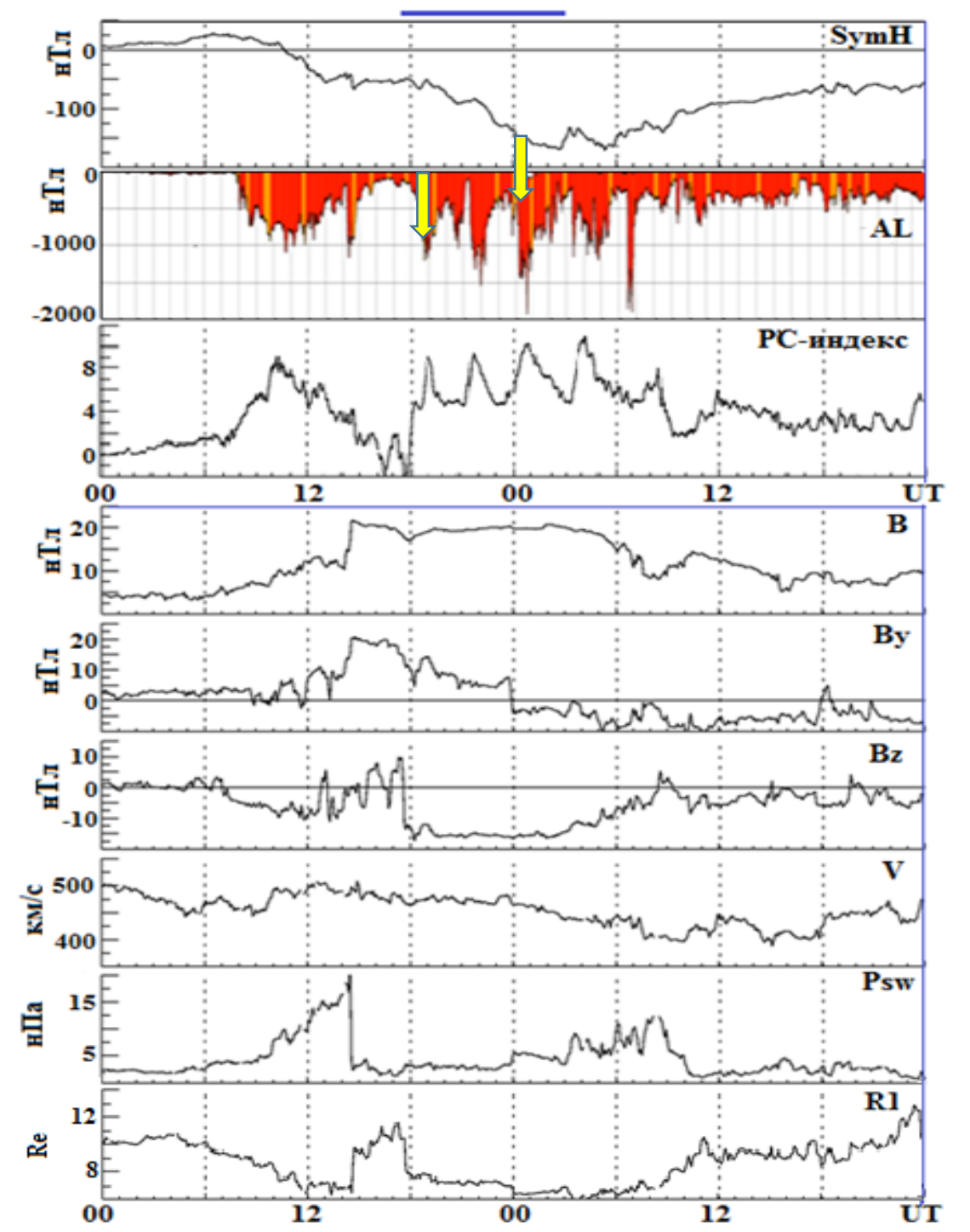


Рис.1. Индексы геомагнитной активности и вариации параметров ММП и солнечного ветра.

## 23 марта 2023 г.

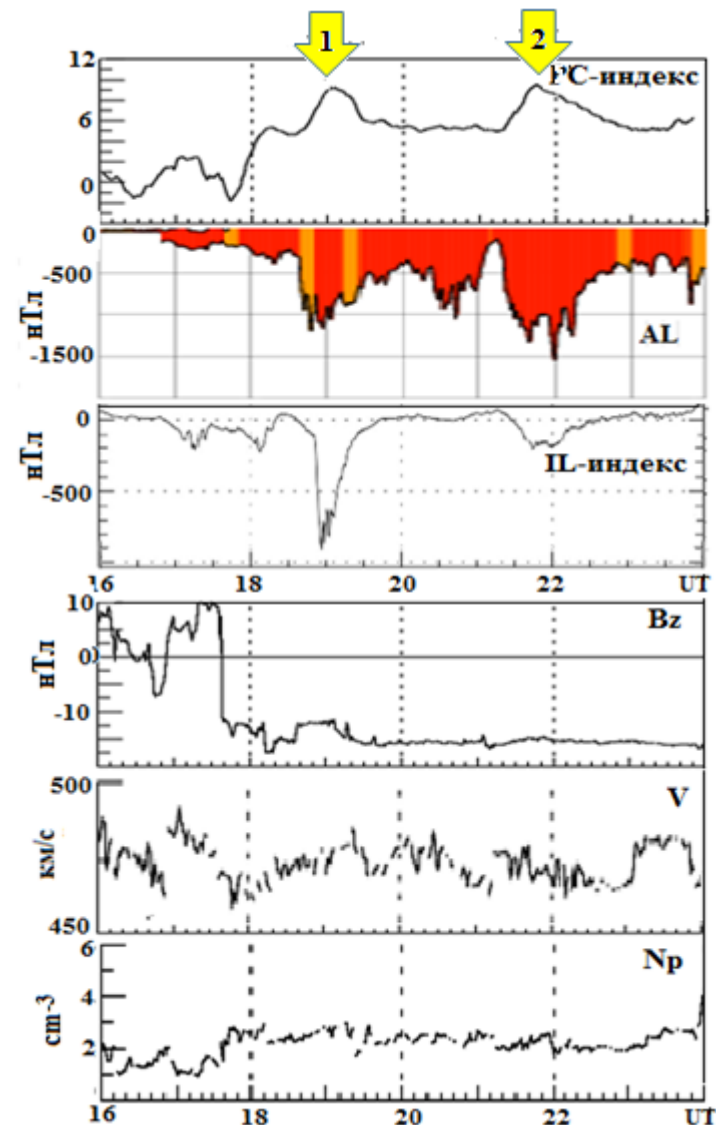


Рис.2 Вариации индексов геомагнитной активности и параметры ММП и солнечного ветра во время анализируемого периода главной фазы бури.

В самом начале главной фазы наблюдалась интенсивная суббура ( $AL$  до  $-1200$  нТл) с довольно сложной структурой. Начавшись на авроральных широтах, она быстро распространилась до полярных широт и достигла максимума около 19 UT. На долготе IMAGE, в вечернем секторе, развивалась полярная суббура, которую показывает  $IL$ -индекс, вычисленный по методике вычисления  $AL$ -индекса, но только по полярным станциям IMAGE (NAL, LYR, HOR, BJN), расположенным выше  $70^\circ$  MLAT (рис.2), а также распределение эквивалентных токов и магнитограммы станций IMAGE (рис. 3, 4). В ранне-вечернем секторе эта суббура наблюдалась даже вблизи геомагнитного полюса, в обсерватории THL ( $85^\circ$  MLAT). Как правило, полярные суббуры развиваются при медленном солнечном ветре - скорость солнечного ветра в рассматриваемый период не превышала 470 км/с.

Вторая, более интенсивная, суббура ( $AL$  до  $-1500$  нТл) с максимумом около 21:30 UT наблюдалась на профиле IMAGE в полуденном секторе преимущественно в субавроральных и авроральных широтах до  $\sim 71^\circ$  MLAT (рис. 3,4), и авроральный индекс  $AL$  был значительно больше ( $AL$  до  $-1500$  нТл), чем полярный  $IL$  (до  $-250$  нТл). В раннее утреннее секторе эта суббура распространилась к полярным широтам только до  $\sim 75^\circ$  MLAT (над широтами Сибири, где наземные магнитные наблюдения отсутствуют), что следует из анализа карт AMPERE.

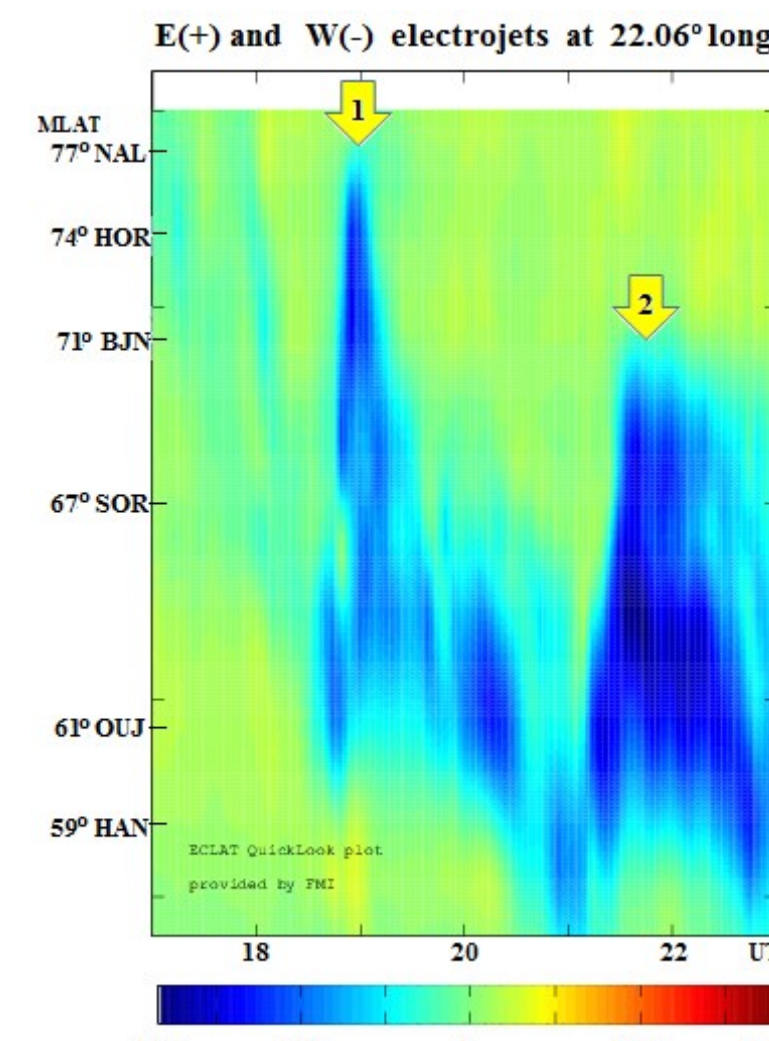


Рис.3. Карта эквивалентных ионосферных токов на профиле IMAGE Голубым показан западный ток, желтым - восточный.

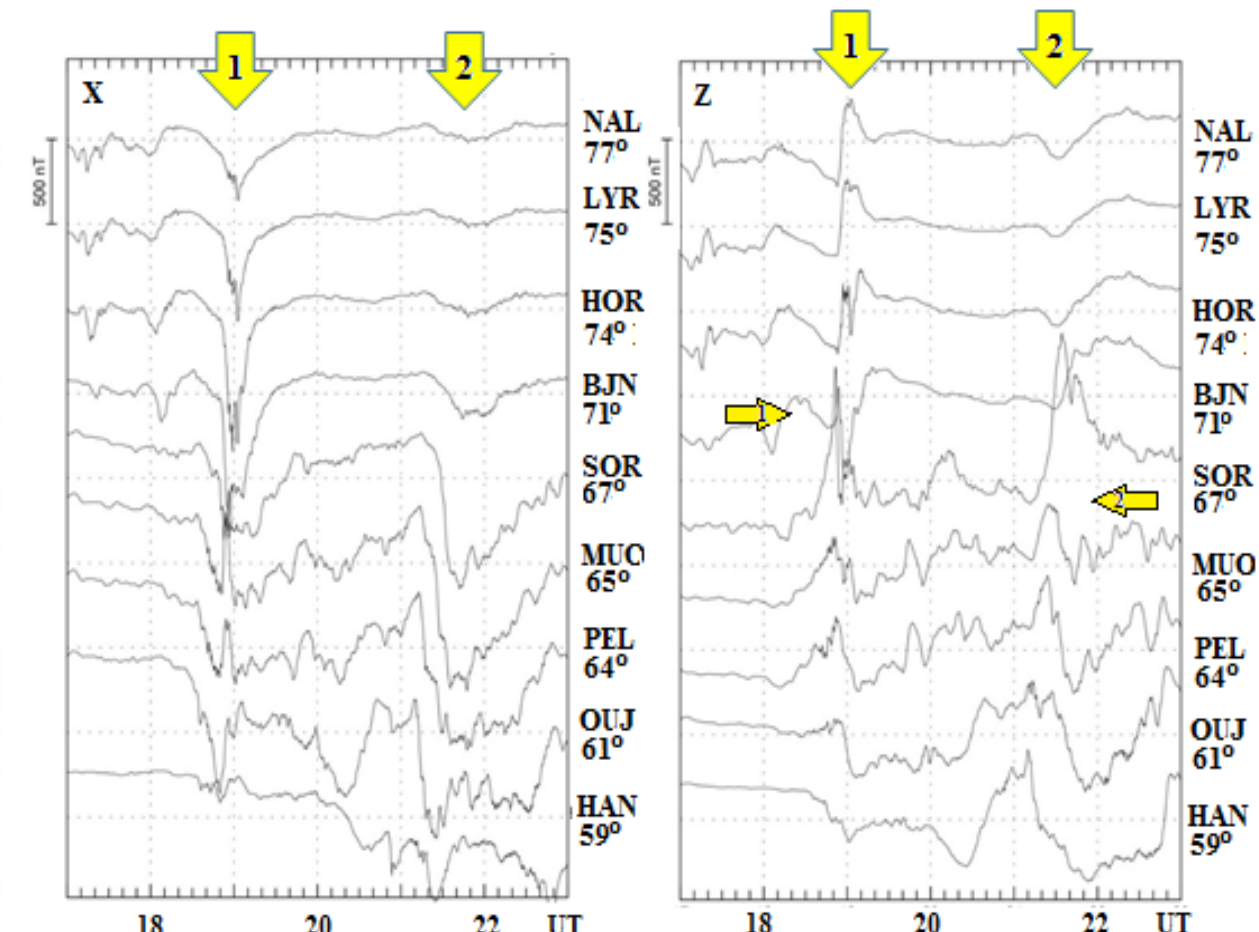


Рис.4. Магнитограммы X, Z станций IMAGE в 17-23 UT. Желтые горизонтальные стрелки показывают положение центров электроджетов.

По сравнению с суббурой-1, когда центр электроджета располагался в полосе  $67-71^\circ$  MLAT (между станциями SOR и BJN) во время суббуры-2 он сместился на более низкие широты  $65-67^\circ$  (MUO - SOR), см. рис. 4.

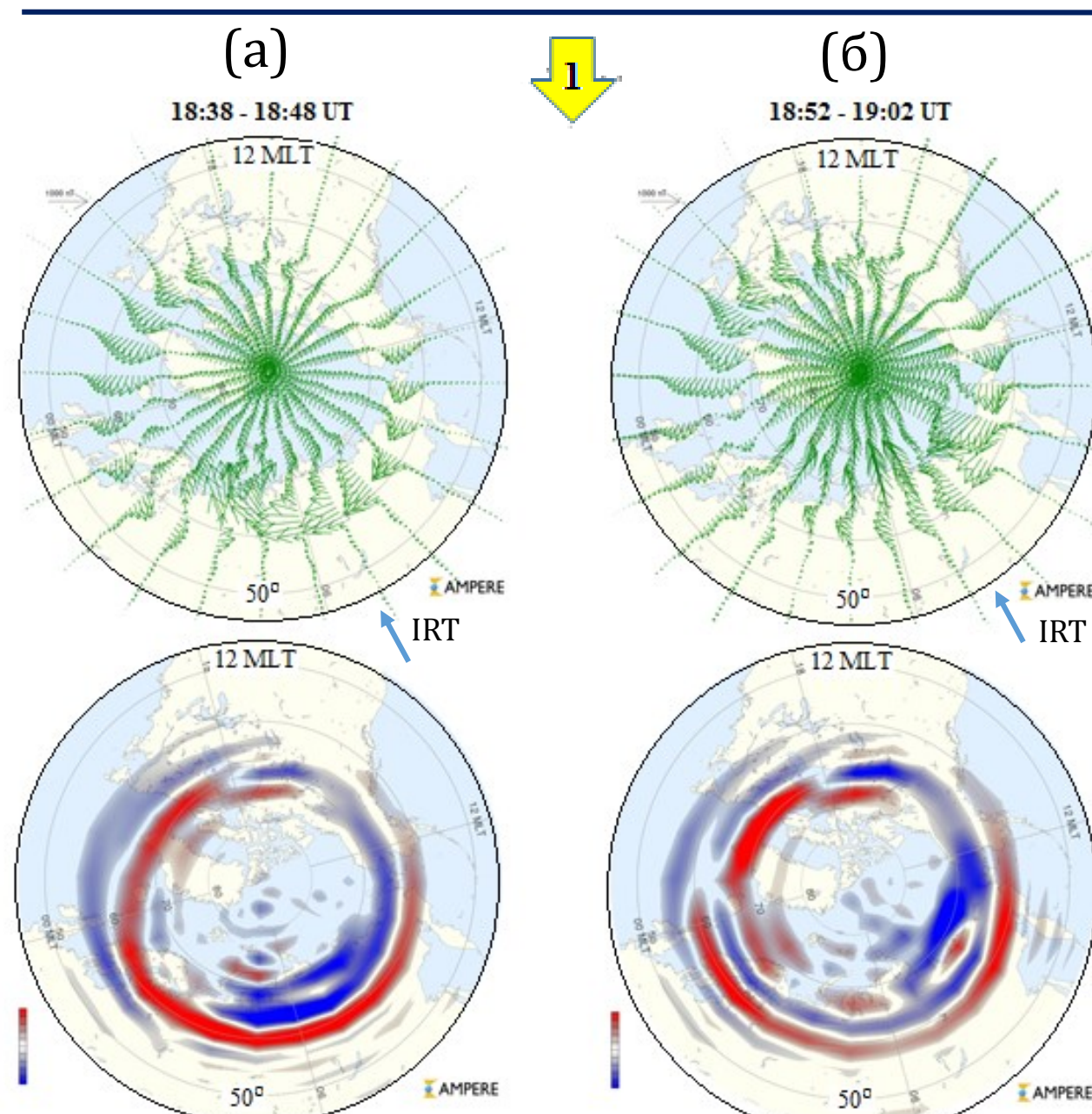


Рис.5. Положение электроджетов и распределение продольных токов по картам AMPERE (синие - входящие токи, красные - выход в момент начала суббуры (а) и в ее максимуме (б)).

Карты AMPERE на рис. 5а показывают, что суббура-1 началась на субавроральных широтах, когда в вечернем секторе на широтах ниже  $\sim 62^\circ$  формировались слоистые структуры продольных токов и совпадающие с ними вихри (рис. 5а).

К  $\sim 19$  UT (около максимума суббуры) западный электроджет значительно усилился в вечернем секторе на широтах выше  $72^\circ$  MLAT, как показывают и карты ионосферных токов (рис. 3), а в утреннем секторе - в полосе широт  $56-75^\circ$  MLAT, где сформировался мощный вихрь с центром над Сибирью (рис. 5б).

Согласно картам AMPERE на рис.6, наиболее интенсивный западный электроджет в максимуме суббуры-2 регистрировался, как и в первой суббуре, в утреннем секторе на широтах  $\sim 55-75^\circ$ , где в это время наблюдалась сложная слоистая структура продольных токов. Утренний вихрь, сформировавшийся после 21:24 UT на широтах  $70^\circ$  MLAT и выше, и соответствующее ему усиление продольного тока существовали в течение долго времени, из-за чего, можно предположить, рассматриваемая суббура была относительно длительной.

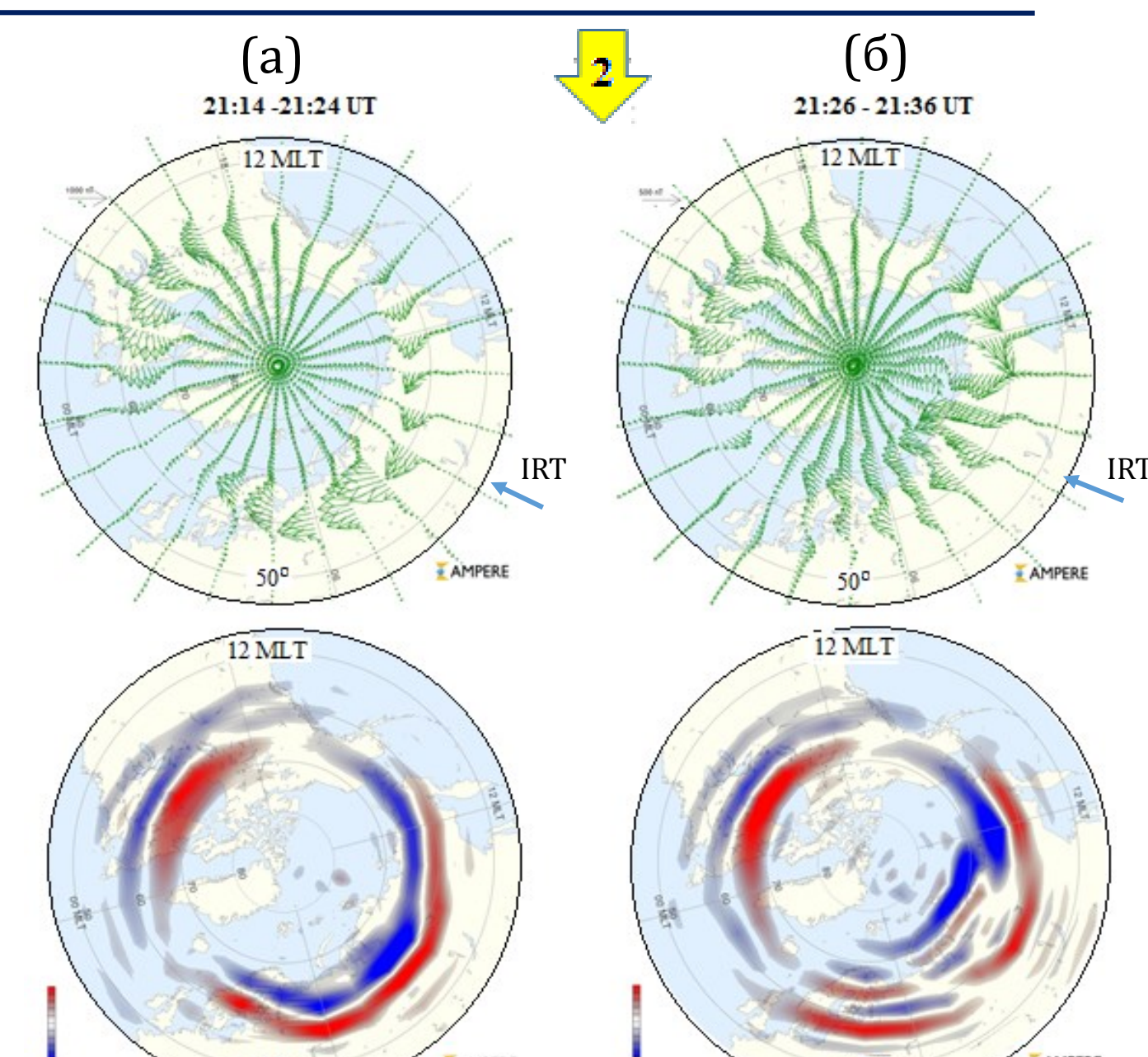
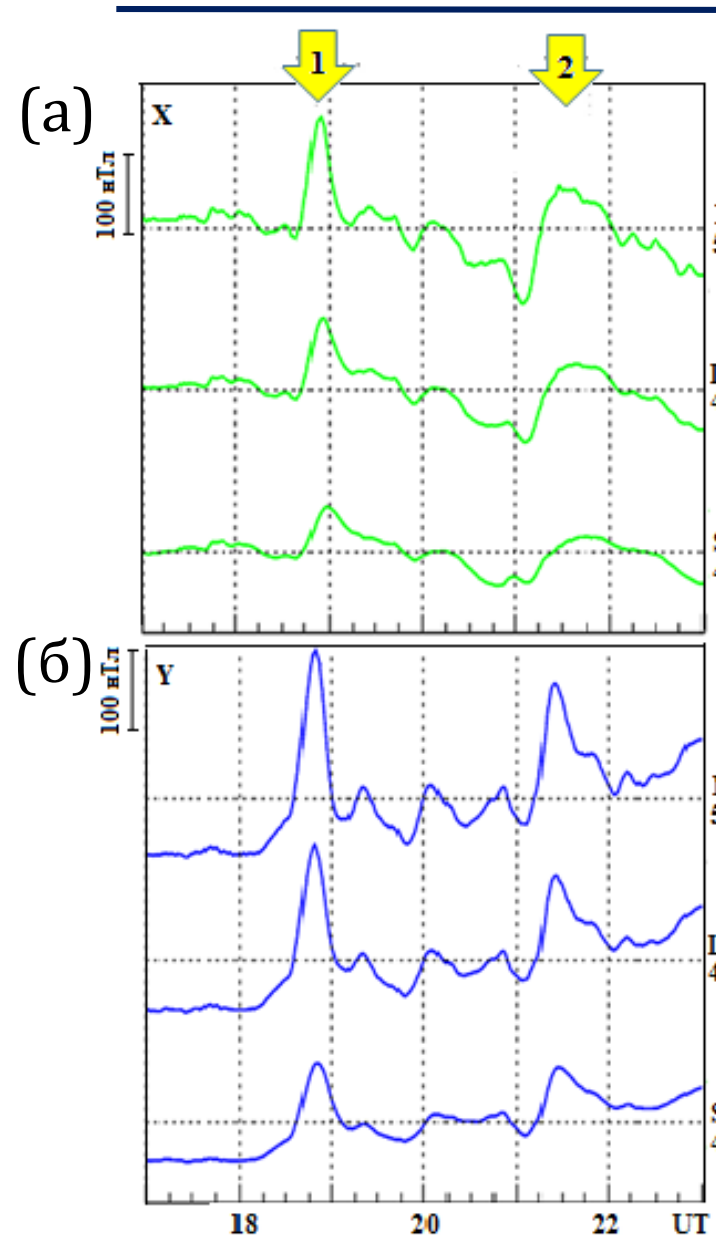


Рис.6. Положение электроджетов и распределение продольных токов по картам AMPERE в момент начала суббуры-2 (а) и в ее максимуме (б). Синие - входящие токи, красные - выходящие.



Анализ данных среднеширотных станций сети ИЗМИРАН показал (рис. 7а), что обе суббуры сопровождалась среднеширотными положительными магнитными бухтами, т.е. формированием токового клина суббуры (SCW).

Магнитограммы Y позволяют сделать вывод (рис. 7б), что максимумы рассматриваемых суббур находились восточнее меридиана IMAGE, но западнее станции IRT, что показывают ее магнитограммы (здесь не приводятся).

Как показывают карты AMPERE, в суббуре-1 сначала ее максимум был западнее IRT (рис. 5а), а затем переместился на долготы, восточнее (рис. 5б). Аналогично во время суббуры-2 - сначала западнее IRT (рис 6а), а затем восточнее (рис. 6б).

Рис.7 Магнитограммы X- и Y-компонент среднеширотных станций MOS, LPSR, SIM из того же долготного сектора, что профиль станций IMAGE 17-23 UT.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Рассмотрены особенности первых двух суббур из нескольких, наблюдаемых в главную фазу интенсивной магнитной бури 23-24 марта 2023 ( $SymH$  до  $\sim -170$  нТл), на фоне мало меняющихся низкой скорости ( $\sim 450$  км/с) и низкого динамического давления (2-3 нПа) солнечного ветра, но при значительной отрицательной ( $\sim -15$  нТл)  $Bz$  компоненте ММП.
- При анализе суббур, кроме данных наземных наблюдений в вечернем секторе (скандинавский профиль IMAGE), использовались карты глобального положения электроджетов и распределения продольных токов проекта AMPERE, что позволило выявить планетарные особенности исследуемых суббур, несмотря на отсутствие сибирских высокоширотных наземных магнитных данных и наблюдений в районах океанов.
- Было показано, что полярные суббуры в вечернем секторе на меридиане IMAGE представляли собой,

по существу, расширение уже существующих утренних авроральных суббур в вечерний полярный сектор при появлении новых усиленных продольных токов в около-полуденных приполярных широтах.

Анализ среднеширотных магнитных наблюдений на сети станций ИЗМИРАНа показал, что центр токового клина исследуемых суббур, находился восточнее профиля IMAGE, над Сибирью, что было подтверждено картами AMPERE. Было показано, что в этой области формировались мощные магнитные вихри, и отмечалась сложная «слоистая» структура продольных токов.

Отмечено, что первая суббура (около 19 UT) наблюдалась на более высоких широтах, чем вторая ( $\sim 21-22$  UT), когда усиленные продольные токи регистрировались на более низких широтах.