

DOI: 10.37614/2588-0039.2020.43.003

РОСТ ГЕОМАГНИТНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ТОКОВ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ 25-26 АВГУСТА 2018 ГОДА

В.Б. Белаховский¹, В.А. Пилипенко², Я.А. Сахаров¹, В.Н. Селиванов³

¹ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты

²Институт физики Земли, г. Москва

³Кольский научный центр РАН, г. Апатиты

Аннотация. В работе произведена оценка вклада геомагнитных возмущений в рост геомагнитно-индуцированных токов (ГИТ), регистрируемых в линиях электропередач на Кольском полуострове, для сильной магнитной бури 25-26 августа 2018 года. Показано, что рост ГИТ определяется суммарным вкладом как вихревых токовых систем, так и аврорального электроджета. Пространственно-временное распределение максимума геомагнитных возмущений в целом совпадает с пространственно-временным распределением максимума производной dX/dt . $Pi3$ волновая активность на фоне суббури проводит в росту ГИТ до 40 А. Поэтому генерация интенсивных ГИТ в значительной степени связана не с глобальными геомагнитными возмущениями большой амплитуды, а с локальными быстрыми вариациями сравнительно небольшой амплитуды, наложенными на глобальные возмущения.

Введение

Геомагнитно-индуцированные токи (ГИТ) представляют собой токи, протекающие в поверхностных слоях Земли, они вызываются теллурическими электрическими полями, индуцированными изменениями геомагнитного поля. Наиболее интенсивные токи (до сотен ампер) и электрические поля (>10 В/м) возбуждаются на авроральных широтах при магнитных бурях и суббурях [1]. ГИТ представляют опасность для наземных технологических систем (линии электропередач, трубо-, нефте-, газопроводы, телефонные, телеграфные линии и т.п.). Наведенные токи вызывают насыщение, перегрев и даже повреждение высоковольтных трансформаторов на электрических подстанциях. Известны многочисленные примеры катастрофических последствий.

Главная фаза магнитной бури или начало суббури являются причиной высокого dB/dt и рассматриваются как основной фактор риска для энергосистем на высоких широтах. Например, катастрофа энергетической системы Нудго Quebec была вызвана бурей с $dB/dt \sim 480$ нТл/мин [2], хотя влияние ГИТ на ЛЭП наблюдалось и при гораздо меньших $dB/dt \sim 100$ нТл/мин [3].

Крупномасштабная структура ионосферных токов на авроральных широтах определяется восточно-западным электроджетом, что проявляется в преобладании X-компоненты геомагнитного поля. Однако вклад производных dY/dt , dX/dt в рост ГИТ уже вполне сопоставим. Поэтому рост ГИТ определяется не только авроральным электроджетом, но и мелкомасштабными токовыми системами [4].

В данной работе произведена оценка вклада волновых $Pi3$ возмущений на фоне суббури в рост ГИТ для сильной магнитной бури 25-26 августа 2018 года.

Данные

В работе были использованы данные по регистрации ГИТ в линиях электропередач Кольского полуострова и Карелии. Система регистрации принадлежит Полярному геофизическому институту и Центру физико-технических проблем энергетики Севера КНЦ РАН и является единственной в России. Система включает себя 4 станций (Выходной – VKH, Титан – TTN, Лоухи – LKH, Кондопога – KND) на линии 330 кВ и одну станцию на линии 220 кВ (Ревда – RVD). Система регистрации ориентирована в направлении север-юг, она работает с 2010 года по настоящее время.

Для характеристики вариаций геомагнитного поля были использованы данные магнитометров сети IMAGE (58° - 79° геомагнитной широты). Также в работе использована двухмерная модель по расчету эквивалентных ионосферных токовых систем на основе данных магнитометров сети IMAGE, построенная по методу сферических элементарных токовых систем.

Магнитная буря 25-26 августа 2018 года

Сильная геомагнитная буря была инициирована приходом к магнитосфере межпланетной ударной волны около 08 UT (Рис. 1). При этом V_z -компонента стала отрицательной только спустя 8 часов, что обеспечило

проникновение плазмы солнечного ветра в магнитосферу. При этом скорость солнечного ветра имела достаточно невысокие значения – порядка 450 км/с, SYM-H индекс достигал значения -210 нТл. Суббуревой SME-индекс [5] достигал значений более 2000 нТл. Примерно в 20 UT 25 августа на станциях сети IMAGE было зарегистрировано развитие длительной суббуревой активности, продолжавшейся около 12 часов (Рис. 2). Амплитуда суббури на станции SOD достигала порядка 1700 нТл. На фоне суббури видно развитие P₃ волновой активности. 26 августа в 16 UT, 20 UT также было зарегистрирована небольшая суббуревая активность амплитудой порядка 500 нТл.

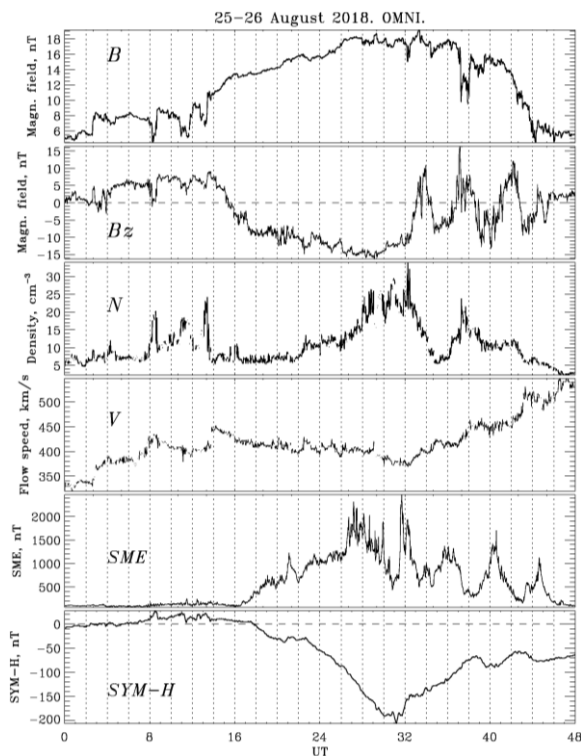


Рисунок 1. Параметры межпланетного магнитного поля (модуль B [нТл], B_z -компонента [нТл]) и солнечного ветра (плотность N [см⁻³], скорость V [км/с]) по данным базы OMNI; SME-индекс [нТл]; SYM-H индекс [нТл].

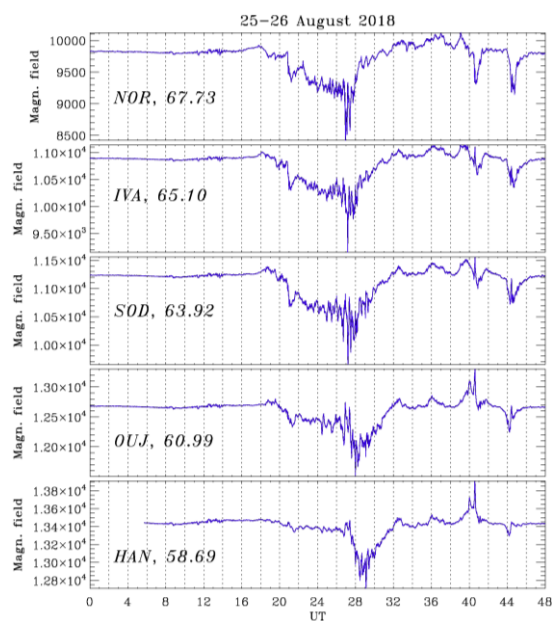


Рисунок 2. Вариации X-компоненты геомагнитного поля по данным меридиональной цепочки станций NOR-IVA-SOD-OUI-HAN 25-26 августа 2018 года.

Суббуревая активность 25-26 августа вызвала заметный рост ГИТ (до 40А) в линиях электропередач на Кольском полуострове (станция VKH) – рис. 3. Амплитуда геомагнитных возмущений на станции LOZ примерно составляет около 1500 нТл как в X-компоненте, так и Y-компоненте геомагнитного поля. Видно, что dY/dt дает даже больший вклад в рост ГИТ, чем dX/dt .

На рис. 4 представлена тонкая структура суббури в виде P₃ пульсации, особенно заметных в Y-компоненте геомагнитного поля, которые и приведут к сильному скачку ГИТ. SSC импульс, связанный с приходом межпланетной ударной волны, практически не вызвал роста ГИТ.

Коэффициенты корреляции между вариациями ГИТ на станции VKH и вариациями X, Y-компонент геомагнитного поля, их производными на станции LOZ имели следующие значения для интервала 02.30-04.00 UT: $GIC-X = -0.44$, $GIC-Y = 0.68$, $GIC-dX/dt = -0.23$, $GIC-dY/dt = 0.22$. Вариации геомагнитного поля заметно лучше коррелируют с вариациями ГИТ, чем вариации производной геомагнитного поля. Хотя вариации индуцированных токов (согласно закону Фарадея) должны определяться именно вариациями производной магнитного поля. Поэтому высокие значения ГИТ могут быть вызваны не только временными вариациями геомагнитного поля, но и пространственными вариациями мелкомасштабных вихревых ионосферных токовых систем. dX/dt и dY/dt вносят примерно одинаковый вклад в рост ГИТ. При этом вклад Y-компоненты геомагнитного поля в рост ГИТ превосходит вклад X-компоненты геомагнитного поля.

Построена карта распределения вариаций геомагнитного поля и его производной в зависимости от геомагнитной широты и времени на основе данных сети IMAGE (рис. 5). Пунктирной линией показана широта станции VKH. Подобное распределение позволяет по вариациям производной геомагнитного поля оценить возможность наведения ГИТ на той или иной широте. Максимум распределения геомагнитных

возмущений во время суббурь в целом совпадает с распределением максимума dX/dt этих геомагнитных возмущений. Поэтому для роста ГИТ необходимо не только сильное геомагнитное возмущение, но также быстрые геомагнитные вариации, наложенные на эти возмущения.

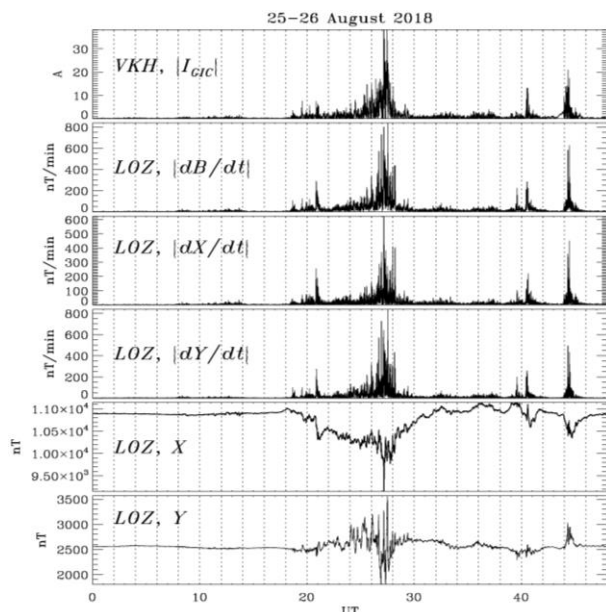


Рисунок 3. Вариации ГИТ на станции VKH, вариации модуля производных dB/dt , dX/dt , dY/dt на станции LOZ, вариации X, Y-компонент геомагнитного поля на станции LOZ 25-26 августа 2018.

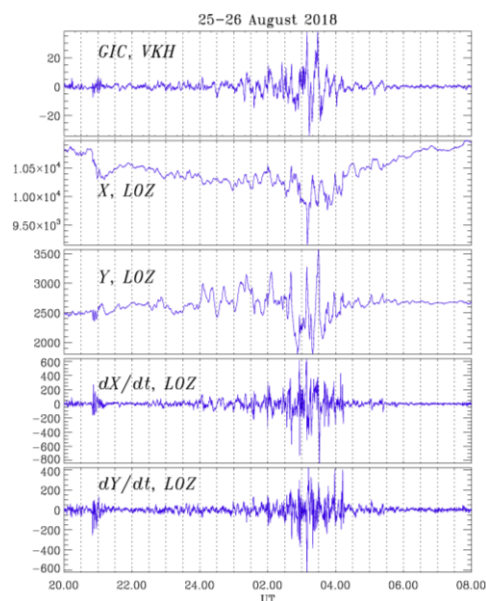


Рисунок 4. Вариации ГИТ на станции VKH, X, Y-компонент геомагнитного поля, dX/dt , dY/dt на станции LOZ 25 августа, 20 UT –26 августа 2018, 08 UT.

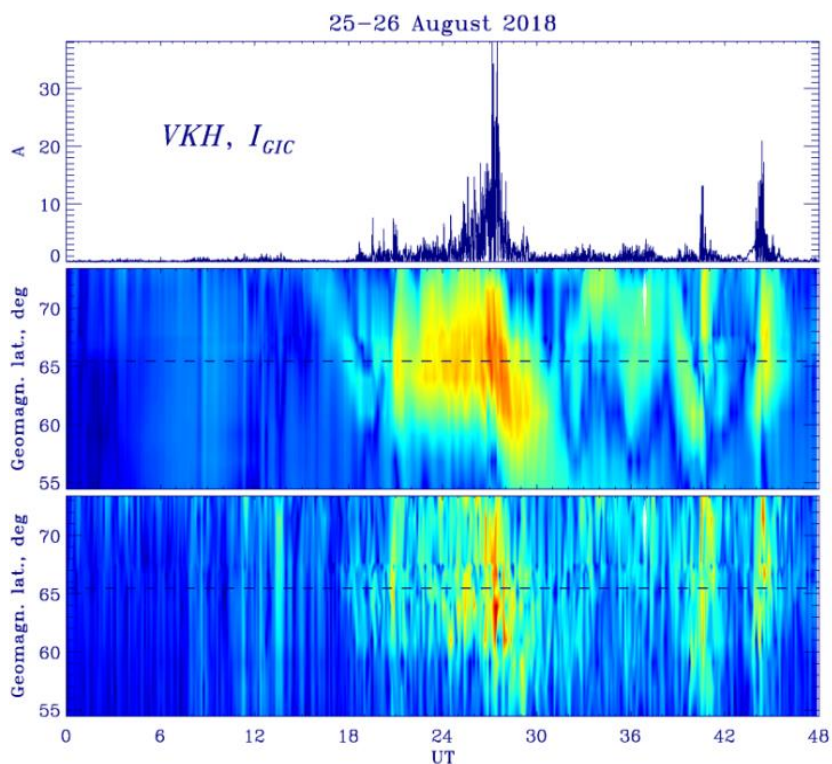


Рисунок 5. Вариации ГИТ на станциях VKH, широтные вариации X-компоненты геомагнитного поля, широтные вариации производной dX/dt геомагнитного поля.

Двумерное распределение эквивалентных ионосферных токов, рассчитанных по данным модели IMAGE, в координатах широта-долгота показывает, что в отдельные моменты преобладает вклад вихревых токовых систем (рис. 6, слева), в другие моменты преобладает вклад восточно-западного аврорального электроджета (рис. 6, справа). При развитии вихревых токовых систем, связанных с продольными токами в магнитосфере, преобладают ионосферные токи в направлении север-юг, которые и будут давать вклад в рост ГИТ в технологических системах, вытянутых в направлении север-юг.

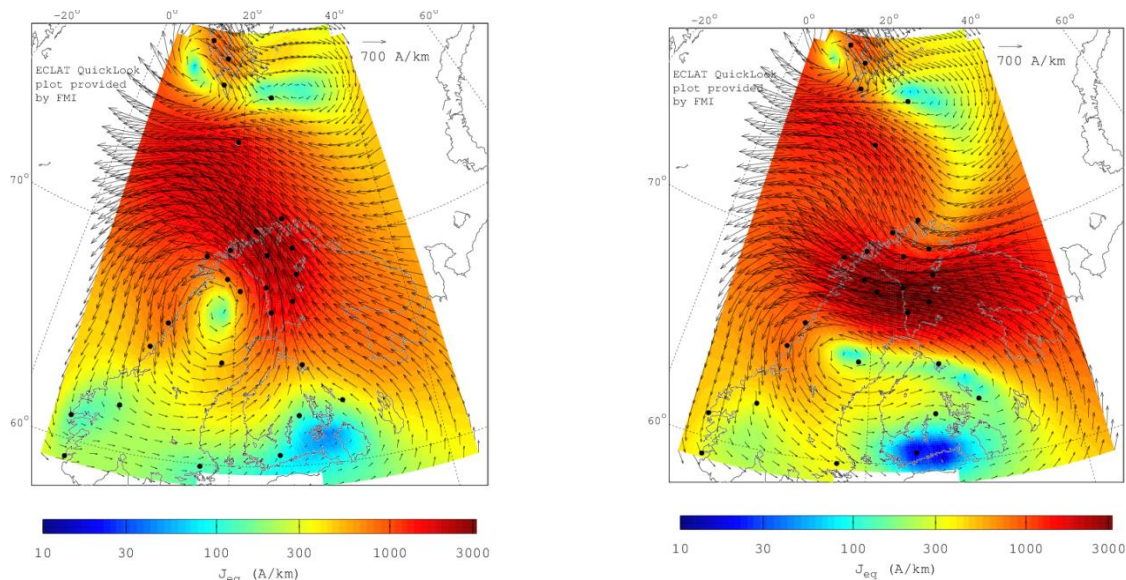


Рисунок 6. Двухмерные эквивалентные ионосферные токи 26 августа 2018 в 02.50 UT (слева) и в 03.10 UT (справа) в районе Скандинавии, Кольского полуострова.

Заключение

Произведена оценка воздействия геомагнитных возмущений на рост величины ГИТ, регистрируемых в линиях электропередач на Кольском полуострове, для сильной геомагнитной бури 25-26 августа 2018 года. Рост ГИТ определяется вкладом не только аврорального электроджета, но и вихревых токовых систем, связанных с продольными токами в магнитосфере. Вариации ГИТ лучше коррелируют с вариациями геомагнитного поля, чем с его производной. Поэтому экстремальные значения ГИТ могут быть вызваны не только временными вариациями электроджета, но и движением вихревых токовых структур. В рассмотренном событии генерация интенсивных ГИТ в значительной степени связана с локальными быстрыми вариациями сравнительно небольшой амплитуды (P13 пульсации), наложенными на глобальные возмущения геомагнитного поля.

Список литературы

1. *Lanzerotti L.J.* Space weather effects on technologies // *Space Weather. Geophys. Monogr. Ser.* 2001. V. 125. P. 11.
2. *Fiori R.A.D., Boteler D.H., Gillies D.M.* Assessment of GIC risk due to geomagnetic sudden commencements and identification of the current systems responsible // *Space Weather.* 2014. V. 12. P. 76–91.
3. *Kappenman J.G.* Great geomagnetic storms and extreme impulsive geomagnetic field disturbance events – an analysis of observational evidence including the great storm of May 1921 // *Adv. Space Res.* 2006. V. 38. P. 188–199.
4. *Белаховский В.Б., Пилипенко В.А., Сахаров Я.А., Селиванов В.Н.* Характеристики variability геомагнитного поля для изучения воздействия магнитных бурь и суббурь на электроэнергетические системы // *Физика Земли.* 2018. № 1. С. 56–68.
5. *Newell P.T., Gjerloev J.W.* Evaluation of SuperMAG auroral electrojet indices as indicators of substorms and auroral power // *J. Geophys. Res.* 2011. V. 116, A12211.