

**ПУЛЬСИРУЮЩИЕ СИЯНИЯ НА ШИРОТАХ SAR-ДУГИ
ВСЛЕДСТВИЕ ГЕНЕРАЦИИ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ ВОЛН**

С.Г. Парников, И.Б. Иевенко, В.Н. Алексеев

**PULSATING AURORAS AT THE SAR-ARC LATITUDES AS A RESULT
OF THE GENERATION OF ION-CYCLOTRON WAVES**

S.G. Parnikov, I.B. Ievenko, V.N. Alexeyev

Фотометрические наблюдения на меридиане Якутска (CGMC: 55–60° N, 200° E) показали, что во время фазы восстановления интенсивных суббурь на широтах SAR-дуги обычно наблюдаются всплески пульсаций свечения в эмиссии 427.8 нм N₂⁺ с частотами 0.05–1 Гц. Эти пульсации отображают пульсирующие высыпания энергичных частиц кольцевого тока в области внешней плазмосферы.

Представлены новые результаты фотометрических исследований пульсирующих высыпаний частиц в окрестности плазмопаузы. Рассмотрены возможные механизмы этого явления.

Photometric observations at the Yakutsk meridian (CGMC: 55–60° N, 200° E) have shown that during the intense substorms recovery phase at latitudes of SAR arc the luminosity pulsation splashes in the 427.8 nm emission with frequencies of 0.05–1 Hz are usually observed. These pulsations map the pulsating precipitations of the ring current energetic particles in the outer plasmasphere.

Введение

Известно, что пульсирующие высыпания могут быть вызваны гидромагнитными волнами в результате модуляции питч-угловой диффузии и, соответственно, потока частиц в конус потерь частотой волны [Coroniti, Kennel, 1970]. Во внутренней магнитосфере (L=3–5) возбуждение электромагнитных ионно-циклотронных (EMIC) волн возможно при развитии циклотронной неустойчивости на энергичных ионах кольцевого тока H⁺ и O⁺. Мы выполнили анализ зависимости частоты электромагнитной волны от L для значений энергии ионов 5 и 50 кэВ и плотности холодной плазмы от 100 до 800 см⁻³. В обеих ситуациях наблюдаемые частоты модуляции высыпаний можно объяснить только циклотронными резонансами волн с тяжелыми ионами O⁺, которые могут доминировать в кольцевом токе во время магнитных бури.

На рис. 1 представлен пример анализа фотометрических наблюдений пульсирующих высыпаний частиц 30.03.2003 г. (первая ситуация). С 15:20 UT N-фотометр регистрирует пульсации свечения в области активного диффузного сияния (ДС) после начала фазы расширения суббури. С 15:45 UT в зените и на востоке наблюдаются всплески квазигармонических пульсаций с дискретными максимумами в спектре мощности на частотах 0.3–0.8 Гц. Эти пульсации развились на широтах красной полосы, экваториальнее ДС.

На рис. 2 представлен динамический спектр пульсаций свечения на широтах ДС и SAR-дуги 11.02.2000 г. (вторая ситуация). Развитие пульсаций свечения в 16:30 UT началось синхронно в трех направлениях. N-фотометр регистрирует пульсации в ДС, тогда как Z- и S-фотометры – на широтах формирующейся SAR-дуги. Динамические спектры пульсаций в трех направлениях подобны и имеют дискретные максимумы в области частот 0.05–0.1 Гц. Амплитуда гармоник в ДС на порядок выше амплитуды гармоник на широтах SAR-дуги.

Особенности развития пульсаций свечения для двух ситуаций

Ниже мы представили основные особенности развития пульсаций для двух ситуаций. На рис. 3 представ-

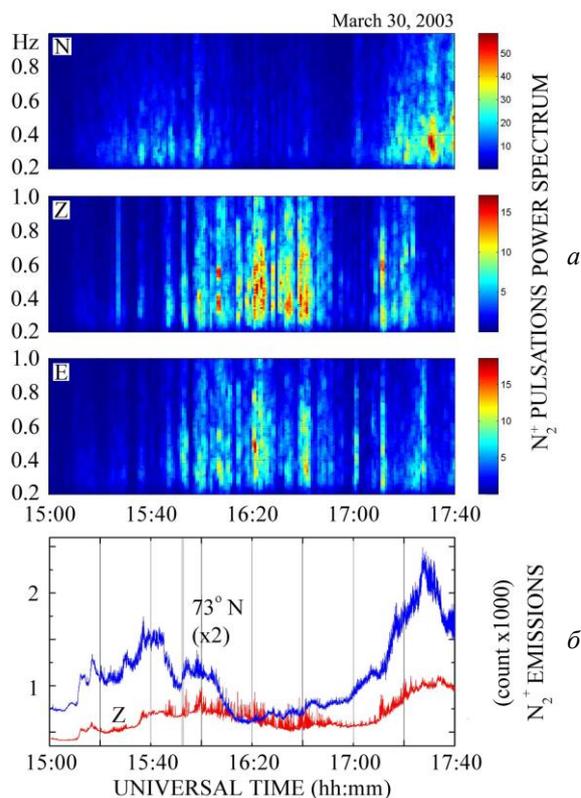


Рис. 1. Динамические спектры пульсаций свечения 30 марта 2003 г. (первая ситуация).

лен фрагмент регистрации пульсаций свечения в эмиссии N₂⁺ для направлений Z и 45° E 30.03.2003 г. (первая ситуация). Время задержки развития пульсаций в зените относительно восточного направления равно 45 с. Это время соответствует скорости магнитного дрейфа положительных ионов с энергией 50 кэВ, которая равна 2 град/мин.

Рисунок 4 показывает фрагмент регистрации пульсаций свечения в эмиссии N₂⁺ для направлений 73° N и 45° S 11.02.2000 г. (вторая ситуация). Время задержки пульсаций на широтах SAR-дуги относительно пульсаций в ДС равно 0.3 и 0.5 с с коэффициентом взаимной корреляции 0.9. Это время задержки пульсаций в широтном интервале ~4° (ΔL=(0.5–0.7) R_E) дает

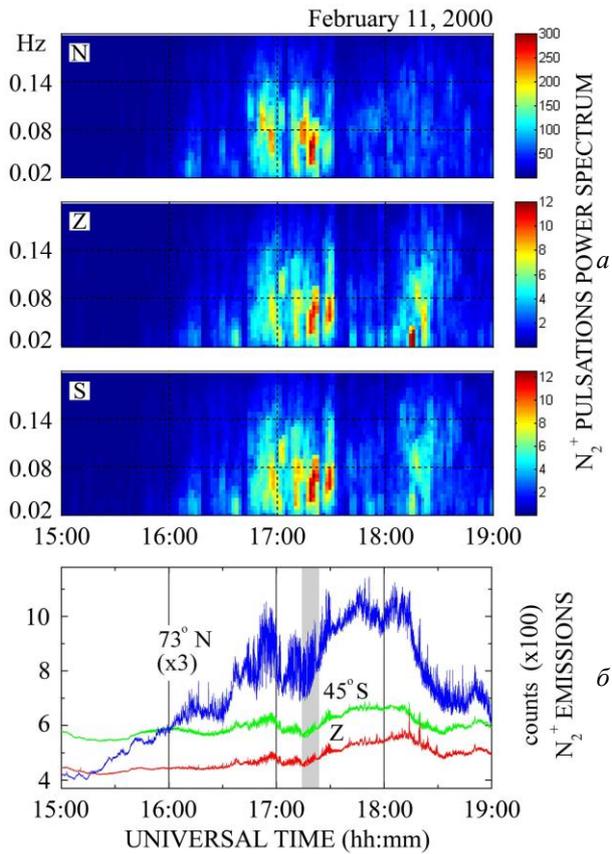


Рис. 2. Динамические спектры пульсаций свечения 11 февраля 2000 г. (вторая ситуация).

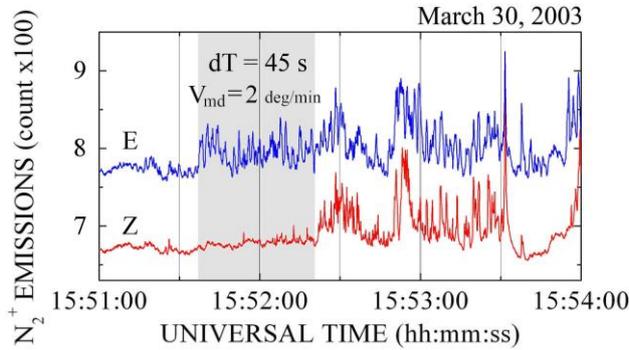


Рис. 3. Пример регистрации задержки в развитии пульсаций свечения вдоль долготы 30 марта 2003 г. (первая ситуация).

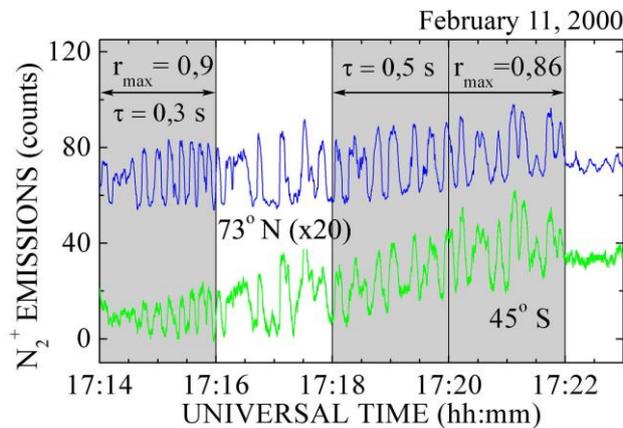


Рис. 4. Наблюдение пульсаций с задержкой вдоль меридиана 11 февраля 2000 г. (вторая ситуация).

основание полагать, что появление пульсирующих высыпаний на широтах SAR-дуги (внешней плазмосферы) в этом случае может быть вызвано распространением гидромагнитных волн из области источника (пульсаций в ДС) внутрь магнитосферы.

Моделирование

Пульсирующие высыпания энергичных частиц кольцевого тока в области внешней плазмосферы могут быть вызваны гидромагнитными волнами, магнитозвуковая мода которых эффективно модулирует питч-угловую диффузию и, соответственно, потоки частиц в конус потерь частотой волны.

Во внутренней магнитосфере на L=3–6 возбуждение гидромагнитных волн с частотами 0.05–1 Гц возможно при развитии циклотронной неустойчивости на энергичных ионах O⁺, которые часто доминируют в составе кольцевого тока.

Из условий циклотронного резонанса было получено выражение, определяющее частоту гидромагнитных волн, возбуждаемых на ионах кислорода.

На рис. 5 и 6 представлены модельные расчеты зависимости частоты гидромагнитной волны от L-параметра для различных значений плотности холодной плазмы и энергии ионов O⁺ и H⁺ соответственно. На рис. 5 видно, что гидромагнитные волны, генерируемые на ионах O⁺, могут соответствовать обеим ситуациям. На ионах H⁺ (см. рис. 6) могут генерироваться волны с частотами ~1 Гц (вторая ситуация) на L=4.2–4.8.

Заключение

Пульсирующие высыпания энергичных частиц в окрестности плазмопаузы могут быть вызваны гидромагнитными волнами вследствие модуляции питч-угловой диффузии и, соответственно, потока частиц в конус потерь частотой волны.

Всплески пульсаций с частотами 0.3–1 Гц регистрируются только в зените и южнее станции наблю-

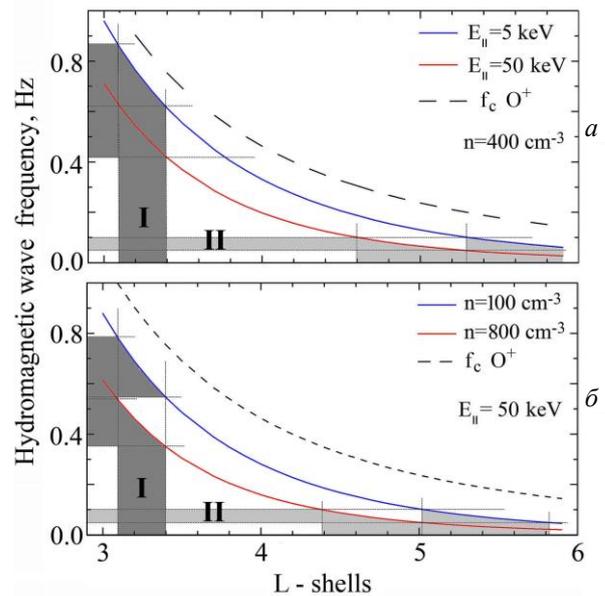


Рис. 5. Модельные расчеты зависимости частот ЭМВ-волн от L-параметра для различных значений энергии ионов O⁺ (a) и плотности холодной плазмы (б).

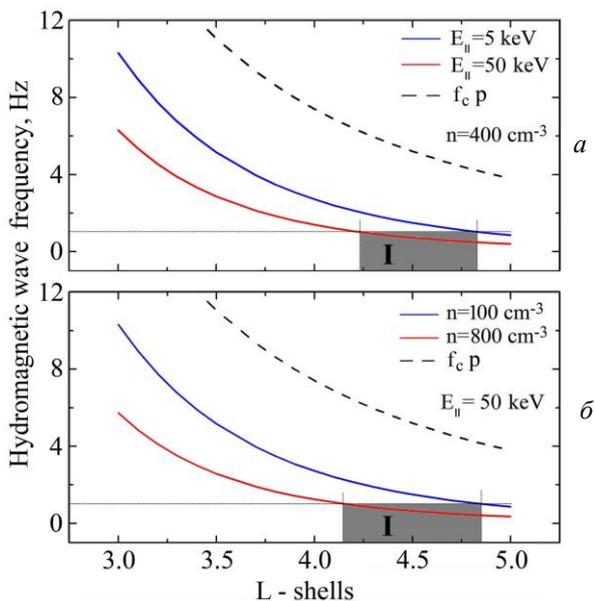


Рис. 6. Модельные расчеты зависимости частот EMIC-волн от L-параметра для различных значений энергий ионов H^+ (а) и плотности холодной плазмы (б).

дения на $L=3-3.3$. В этом случае пульсирующие высыпания, вероятно, вызваны возбуждением EMIC-волн на циклотронном резонансе с ионами O^+ кольцевого тока. Примеры развития пульсаций этого типа в направлении градиентного дрейфа положительных ионов (западный) дополнительно свидетельствуют о связи с энергичными ионами O^+ .

Пульсации свечения с частотами 0.05–1 Гц наблюдаются в широтном интервале 4° , в ДС на севере и в области SAR-дуги на юге. Пульсации в этом случае мы также связываем с генерацией EMIC-волн на $L=4-6$ и их распространением во внутреннюю магнитосферу. В обеих ситуациях наблюдаемые частоты модуляции высыпаний могут быть объяснены циклотронным резонансом волн с тяжелыми ионами O^+ , которые часто доминируют в составе кольцевого тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Coroniti F.V., Kennel C.F. Auroral micropulsation instability // J. Geophys. Res. 1970. V. 75, N 10. P. 1863–1878.
 Ievenko I.B. Substorm-induced pulsed particle precipitations in the SAR arc region // Geomagnetism and Aeronomy. 1995. V. 35, N 3. P. 331–338.
 Ievenko I.B., Parnikov S.G., Alexeyev V.N. Relationship of the diffuse aurora and SAR arc dynamics to substorms and storms // Adv. Space Res. 2008a. V. 41, N 8. P. 1252–1260. doi:10.1016/j.asr. 2007.07.030.
 Ievenko I.B., Parnikov S.G., Alexeyev V.N. Photometric study of pulsating precipitations of the ring current energetic particles at latitudes of the outer plasmasphere // Proc. of the 7th Intern. Conf. “Problems of Geocosmos” (St. Petersburg, May 26–30, 2008) / Ed. V.N. Troyan, M. Hayakawa, V.S. Semenov. SPb., 2008b. P. 96–101.

Институт космических исследований и аэронамики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия