



**ХХV Всероссийская открытая научная конференция**  
**«РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН»,**  
**посвященная 80-летию отечественных**  
**ионосферных исследований**

**4–9 июля 2016 г.**

*Научное издание*

**ТРУДЫ  
XXIV ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ  
РАДИОВОЛН**

РРВ-25, Томск, 4-9 июля 2016 г., Т. 1

Научный редактор Куркин В.И.  
Технические редакторы Амбаева И.Г., Купрякова Н.В., Никонова М.В.

*Статьи приводятся в авторской редакции*

Сдано в набор 02.07.2016. Подписано к печати 03.07.2016  
Формат 60×90 1/8. Гарнитура *Times New Roman*  
Усл. печ. л. 39.5. Уч.-изд. л. 47.4. Тираж 65. Заказ № 165

---

*Отпечатано в издательском отделе ИСЗФ СО РАН,  
664033, Иркутск, а/я 291,  
и в БМБШ ГОУ ВПО « ИГУ »,  
664001, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1*

---

## **Организаторы конференции**

- Научный совет РАН «Распространение радиоволн»,
- Научный совет ОФН РАН «Физика солнечно-земных связей»,
- Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (ИОА СО РАН),
- Институт солнечно-земной физики СО РАН (ИСЗФ СО РАН),
- Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН (ИРЭ РАН),
- Московский физико-технический институт (государственный университет) (МФТИ),
- Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ),
- Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР),
- Российский новый университет (РосНОУ)

## **При участии и поддержке**

- Российской академии наук (РАН),
- Сибирского отделения Российской академии наук (СО РАН),
- Министерства образования и науки РФ,
- Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ),
- Национального комитета URSI,
- Российской секции IEEE,
- Объединенного физического общества РФ

приглашают вас принять участие в работе XXV Всероссийской конференции по распространению радиоволн, проводимой в соответствии с утвержденным Президиумом РАН Планом научных конференций, симпозиумов, съездов, семинаров и школ на 2016 г. К участию в работе Конференции приглашаются зарубежные ученые. Форма работы Конференции – пленарные и секционные заседания, стендовые сессии. В рамках Конференции планируется конкурс молодых ученых.

## **Научные направления**

**Секция 1.** Распространение радиоволн и дистанционное зондирование верхней атмосферы и космического пространства.

**Секция 2.** Распространение оптических волн в атмосфере и лазерное зондирование природных сред.

**Секция 3.** Распространение километровых и более длинных радиоволн.

**Секция 4.** Распространение радиоволн и нелинейные эффекты в ионосфере.

**Секция 5.** Физические проблемы радиолокации, радионавигации и радиосвязи.

**Секция 6.** Дистанционное зондирование атмосферы и земных покровов, радиометеорология.

**Секция 7.** Математическое моделирование проблем электродинамики и распространения радиоволн.

**Секция 8.** Проблемы атмосферного электричества.

## **Программный комитет**

### **Председатель:**

Геннадий Григорьевич Матвиенко, д.ф.-м.н., директор ИОА СО РАН, Томск

### **Сопредседатели:**

Александр Павлович Потехин, чл.-корр. РАН, директор ИСЗФ СО РАН, Иркутск

Дмитрий Сергеевич Лукин, д.ф.-м.н., проф., МФТИ, Долгопрудный

### **Заместители председателя:**

Борис Георгиевич Кутуза, д.ф.-м.н., профессор, ИРЭ РАН, Москва

Герман Сергеевич Шарыгин, д.т.н., профессор, ТУСУР, Томск

Сергей Анатольевич Колесник, к.ф.-м.н., доц., ТГУ, Томск

### **Учёный секретарь:**

Дмитрий Владимирович Растягаев, к.ф.-м.н., Российский новый университет, Москва

### **Члены программного комитета:**

Ю.Б. Башкуев, д.т.н., ИФМ СО РАН, Улан-Удэ

Е.Г. Бережко, чл.-корр. РАН, директор ИКФИА СО РАН, Якутск

М.А. Бисярин, д.ф.-м.н., профессор, СПбГУ, Санкт-Петербург

Н. Блаунштейн, доктор, профессор, Университет им. Бен-Гуриона, Израиль

В.В. Булкин, д.т.н., доцент, МИ ВлГУ, Муром

А.В. Гуревич, академик РАН, ФИАН, Москва

Н.П. Данилкин, д.ф.-м.н., профессор, ИПГ Росгидромет, Москва

М.Г. Деминов, д.ф.-м.н., профессор, ИЗМИРАН, Троицк

А.С. Дмитриев, д.ф.-м.н., профессор, ИРЭ РАН, Москва

П.Ф. Денисенко, д.ф.-м.н., профессор, НИИ физики ЮФУ, Ростов-на-Дону

Г.А. Жеребцов, академик РАН, ИСЗФ СО РАН, Иркутск

А.И. Захаров, д.ф.-м.н., профессор, ФИРЭ РАН, Москва

Н.Н. Зернов, д.ф.-м.н., профессор, СПбГУ, Санкт-Петербург

В.А. Иванов, д.ф.-м.н., профессор, ПГТУ, Йошкар-Ола

А.С. Крюковский, д.ф.-м.н., профессор, РосНОУ, Москва

В.И. Куркин, д.ф.-м.н., профессор, ИСЗФ СО РАН, Иркутск

В.Б. Лапшин, д.ф.-м.н., профессор, ИПГ Росгидромет, Москва  
Л. Лигтхарт, доктор, профессор, Дельфтский университет технологии,  
Нидерланды  
Е.А. Мареев, чл.-корр. РАН, ИФП РАН, Москва  
В.Л. Миронов, чл.-корр. РАН, ИФ СО РАН, Красноярск  
Е.А. Палкин, к.ф.-м.н., профессор, РосНОУ, Москва  
В.А. Пермяков, д.ф.-м.н., профессор, МЭИ, Москва  
Ю.Я. Ружин, д.ф.-м.н., профессор, ИЗМИ РАН, Троицк  
В.М. Смирнов, д.ф.-м.н., ФИРЭ РАН, Фрязино  
Е.Д. Терещенко, д.ф.-м.н., профессор, ПГИ РАН, Мурманск  
В.Л. Фролов, д.ф.-м.н., профессор, НИРФИ, Нижний Новгород  
И.В. Чашей, д.ф.-м.н., ПРАО АКЦ ФИАН  
В.А. Черепенин, чл.-корр. РАН, профессор, ИРЭ РАН, Москва  
Ю.Н. Черкашин, д.ф.-м.н., профессор, ИЗМИ РАН, Троицк  
Н.П. Чубинский, к.т.н., профессор, МФТИ, Москва  
Б.М. Шевцов, д.ф.-м.н., директор ИКИР ДВО РАН, Паратунка  
Э.И. Шустов, д.т.н., профессор, ОАО НПК НИИДАР, Москва  
Ю.Г. Щорс, д.ф.-м.н., профессор, ИС РАН «Радиофизические методы  
исследования морей и океанов», Москва  
Г.Г. Щукин, д.ф.-м.н., профессор, ВКА им. А.Ф. Можайского, Санкт-  
Петербург

## **Организационный комитет**

### **Председатель:**

Геннадий Григорьевич Матвиенко, [mgg@iao.ru](mailto:mgg@iao.ru)

### **Сопредседатели:**

Герман Сергеевич Шарыгин, [gssh@tusur.ru](mailto:gssh@tusur.ru)

Сергей Анатольевич Колесник, [serkol@mail.tsu.ru](mailto:serkol@mail.tsu.ru)

### **Ответственный секретарь:**

Ольга Владимировна Тихомирова, к.ф.-м.н., ученый секретарь ИОА СО  
РАН, Томск, [science@iao.ru](mailto:science@iao.ru)

Почтовый адрес: Россия, 634055, Томск, пл. Академика Зюева, 1

Телефон: (3822) 492-875, (3822) 492-738, Факс: (3822) 492-086

E-mail: [rwp25@iao.ru](mailto:rwp25@iao.ru)

**ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В РЕГИОНАЛЬНОЙ  
СРЕДНЕШИРОТНОЙ D-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ  
УТРЕННИМ СОЛНЕЧНЫМ ТЕРМИНАТОРОМ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ  
БУРИ 7 – 11 НОЯБРЯ 2004 г.**

**А.М. Гоков**

*Харьковский национальный экономический университет имени С. Кузнеця,  
г. Харьков, пр. Ленина 9а, Украина, 61166, E-mail: amg\_1955@mail.ru*

На основе экспериментальных исследований методом частичных отражений вариаций концентрации электронов в региональной среднеширотной D-области ионосферы в период магнитной бури 7–11.11.2004 г. обнаружено увеличение концентрации электронов более, чем на 200% в период прохождения утреннего терминатора и после него. С использованием гипотезы о стимулированном терминатором выпадении электронов из магнитосферы на основании экспериментальных данных оценены соответствующие потоки электронов  $p \approx (0,6 - 8,8) 10^9 \text{ м}^2\text{с}^{-1}$ .

**VARIATIONS OF ELECTRON DENSITY IN THE REGIONAL MIDDLE  
LATITUDE D-REGION OF THE IONOSPHERE, CONDITIONED BY THE  
MORNING SOLAR TERMINATOR DURING OF NOVEMBER, 7 - 11, 2004  
MAGNETIC STORM**

**A.M. Gokov**

The results of experimental investigations by the partial reflection radar of the electron density variations in the middle latitude ionospheric D-region during passing morning solar terminator in the period of magnetic storm of November, 7–11, 2004 are presented. There was found the increase of the electron density more than 200% both in the period of passing morning solar terminator and during tens min after this events. For explaining such events a hypothesis electron precipitations from the magnetosphere stimulated by morning solar terminator is used. On the basis of the experimental data of electron density changes over the electron precipitation periods, corresponding fluxes were estimated, being  $p \approx (0.6 - 8.8) 10^9 \text{ m}^2\text{sec}^{-1}$ .

**Введение**

Влияние терминатора (СТ), который является мощным естественным источником различных возмущений в атмосфере и ионосфере Земли, на параметры D-области изучено значительно меньше, чем на вышележащие E и F-области. Это обусловлено трудностью и дороговизной проведения длительных непрерывных систематических измерений. Для изучения явлений, возникающих в этих случаях в нижней ионосфере, в последние десятилетия наиболее часто применяется метод частичных отражений (ЧО) (см., напр., [1–3]). Обусловлено это приемлемой точностью получения сведений о высотно-временные вариации основных параметров нижней ионосферы и радишумов, возможностью проводить непрерывные длительные (десятки часов – сутки) наблюдения с временным разрешением единицы – десятки секунд – единицы минут и разрешением по высоте  $\Delta z = 1,5 - 3 \text{ км.}$  Особый интерес представляют исследования отклика D-области на прохождение терминатора в периоды других возмущений, например на фоне магнитной бури. В утренние часы из-за быстрого возрастания потока солнечной радиации прохождение терминатора сопровождается рядом физических процессов в атмосфере. Их энергетика достаточно велика [3]. Поэтому, в период и после прохождения утреннего терминатора (УТ) следует ожидать ряд характерных изменений в ионосферной плазме не только в области тени или полутени, но и далеко за их пределами, которые, в зависимости от условий в ионосфере, атмосфере и магнитосфере Земли, будут в целом повторяться ото дня ко дню, обнаруживая новые, характерные особенности, обуславливаемые другими факторами (например, циклическими и спорадическими изменениями геомагнитной и солнечной активностей, солнечными вспышками, магнитными бурями и др.). Важно, что при прохождении терминатора и после него следует ожидать проявления (усиления или ослабления) атмосферно-ионосферных-плазмосферных связей.

### **Цель работы**

На основании банка данных, полученных методом ЧО на аппаратуре ХНУ им. В. Н. Каразина [4] вблизи г. Харькова изучить отклик региональной среднеширотной D-области во время прохождения УТ в период магнитной бури (МБ) 7 – 11 ноября 2004 г. Рассмотреть возможность высыпания электронов из магнитосферы, стимулированного УТ.

### **Решаемые задачи**

Экспериментальное исследование изменений амплитуд ЧО КВ сигналов, радиозумов и концентрации электронов в региональной среднеширотной D-области в период прохождения УТ во время магнитной бури.

### **Краткие сведения об экспериментах**

Измерения методом ЧО проведены вблизи г. Харькова в период магнитной бури 7–11 ноября 2004 г, а так же в невозмущенных условиях 03, 17 и 24 ноября 2004 г. Обработаны и проанализированы регистрации длительностью по 7 часов: с 05.00 до 12.00 LT (начало регистрации за 1–1,5 часа до момента прохождения УТ в D-области и далее в течение нескольких часов после него). В экспериментах регистрировались высотно-временные изменения амплитуд ЧО сигналов  $A_{so,x}(z, t)$  и шумов  $A_{no,x}(t)$  для обыкновенной "о" и необыкновенной "х" магнитоионных компонент. На их основе с использованием методики [5] на временных интервалах 10 мин с погрешностью < 30 % получены высотные профили концентрации электронов  $N(z)$ .

До начала МБ в период с 3 по 6 ноября 2004 г. по данным спутниковых наблюдений (<http://www.sec.noaa.gov/>) геофизические условия соответствовали типичным невозмущенным для этого времени года: регистрировались плавные вариации параметров солнечного ветра; индекс  $K_p$  принимает значение от 0 до 4, а значение индекса геомагнитной активности  $D_{st}$  изменялись от -24 до 2 нТл. В рассматриваемый период имели место две сильнейшие МБ с главными фазами 8 и 10 ноября, произошедшие на спаде 23-го цикла солнечной активности: первая началась примерно в 18.00 LT 07.11.2004 г. и продолжалась примерно до 16.00 LT 08.11.2004 г.; вторая – началась в 22.00 LT 08.11.2004 г. и продолжалась примерно до 14.00 LT 11.11.2004 г. В этот период времени значения индекса  $K_p$  увеличились до 8 – 9. Их увеличение сопровождалось большими вариациями геомагнитного поля и уменьшением значений индекса  $D_{st}$  в интервале значений от -24 до -400. Энергетика бурь была близка к предельной.

### **Результаты исследований и обсуждение**

На рис. 1 приведены изменения  $N(z, t)$  в период 3 – 24 ноября 2004 г. Стрелками обозначен момент прохождения УТ на высоте 85 км. На рис. приведены вариации  $N(z, t)$  10 ноября после сильнейшей рентгеновской вспышки класса X2.5. Окончание вспышки произошло за 45–50 мин до момента восхода Солнца в D-области. Характерные изменения  $N(z, t)$  начались через 5–10 мин после момента прохождения УТ. Квазипериодический рост значений  $N$  в течение примерно 50 – 55 мин. составлял в среднем 300 – 500 %, максимальная амплитуда возмущений  $N$  составляла 500 – 800 % на высотах 78 и 81 км и 450 – 550 % на высотах 84 и 87 км. Важно, что квазипериодические изменения  $N(z, t)$  наблюдались в течение всего периода наблюдений. В экспериментах 9, 11 и 13 ноября подобных изменений  $N$  не было установлено, отмечены в целом характерные для среднеширотной D-области изменения  $N(z, t)$  в период прохождения УТ и после него [2, 3]. 12 ноября квазипериодические изменения  $N$  в нижней части D-области начались через несколько минут после момента прохождения УТ и продолжались более 180 минут.

Характерным для проведенных в период магнитной бури экспериментов было то, что ЧО сигналы регистрировались с 72–78 км, что в невозмущенных условиях не наблюдается в измерениях на нашей аппаратуре. Вероятно, это обусловлено ростом  $N$  и сильной турбулизацией и нестабильным состоянием плазмы в D-области в период МБ.

На рис. 2 приведены высотно-временные вариации  $N(z, t)$  в период прохождения УСТ в среднеширотной D-области до (3 ноября 2004 г.) и после (17 и 24 ноября 2004 г.) рассматриваемой магнитной бури. Из рис. 2 видно, что 3 и 24 ноября поведение  $N(z, t)$  соответствует типичным [1 – 3]. 17 ноября через несколько минут после прохождения УСТ на высоте 84 км имело место увеличение  $N$  в среднем на 100 – 200 % (максимальная амплитуда возмущений  $N$  состав-

ляла примерно 400 %) продолжительностью около 30 мин. с последующими квазипериодическими изменениями.

Основные особенности вариаций  $N(z,t)$  в период прохождения УТ во время МБ сводятся к следующим: 1) существенное по сравнению с невозмущенными условиями увеличение  $N$  во время прохождения УТ после мощной рентгеновской вспышки: максимальный рост  $N$  составил около 800% на 78 и 81 км и 450 – 550% на 84 и 87 км.; 2) увеличение значений  $N$  в 2–4 раза в период МБ по сравнению с невозмущенными условиями во время характерных для терминального периода изменений  $N(z,t)$ .

Возможной причиной такого поведения  $N(z)$  могли быть высыпания высокоэнергичных электронов из радиационного пояса Земли, что подтвердил анализ геофизических данных. На основе механизма о высыпании электронов с использованием методики [6] выполнены оценки параметров их потоков. Их величина во время МБ составляла  $p \approx (0.6-8.8) 10^9 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Значения потоков электронов после сильной рентгеновской вспышки оказались в несколько раз выше по сравнению с другими периодами.

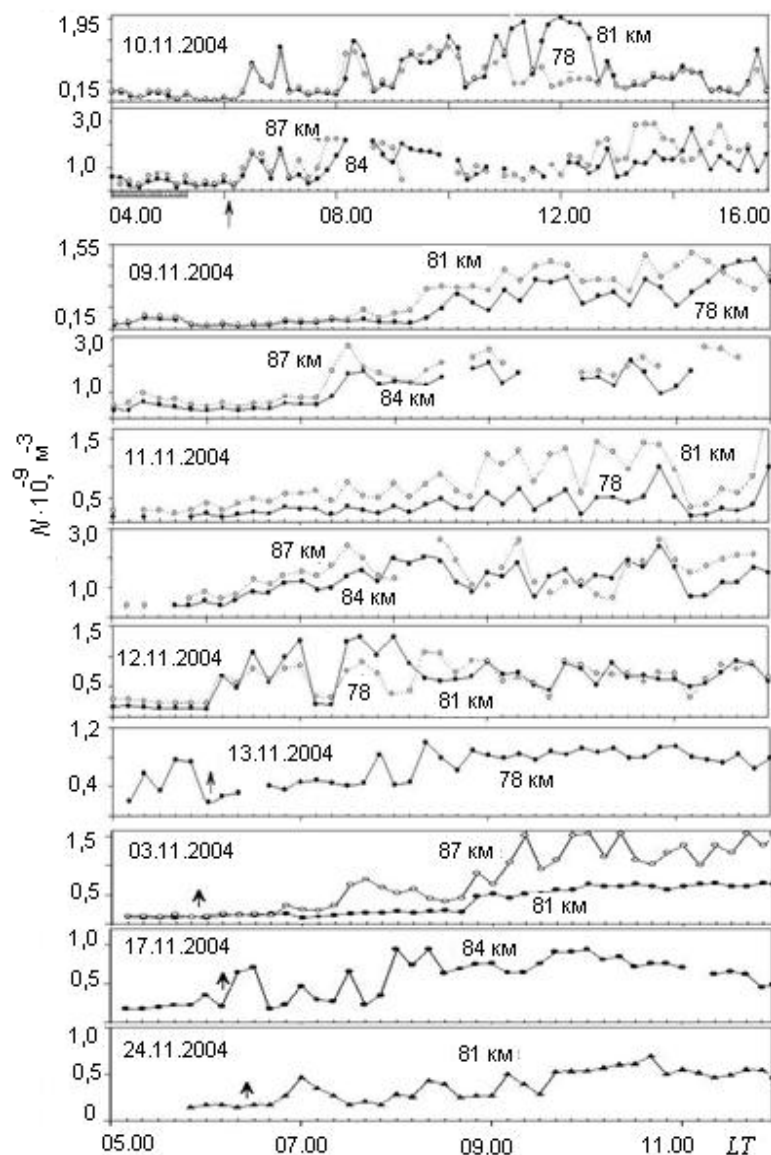


Рис. 1. Изменения концентрации электронов в период УТ в среднеширотной D-области во время МБ 09–13.11.2004 г. Заштрихованной областью указано время рентгеновской вспышки X2.5.



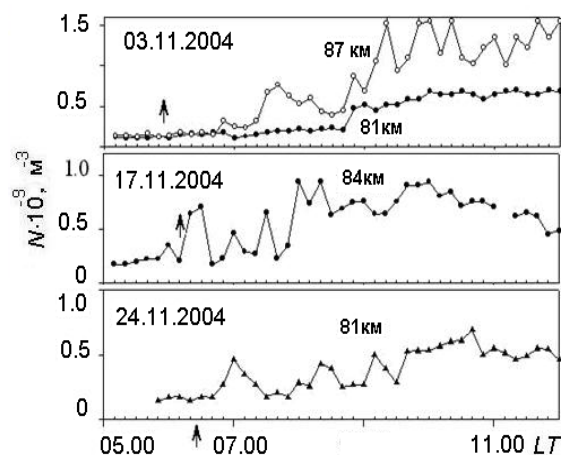


Рис. 2. Высотно-временные изменения концентрации электронов в период восхода Солнца 3, 17 и 24 ноября 2004 г. Стрелками обозначены часа восхода и захода Солнца на высоте 85 км

### Заключение

Экспериментально обнаружено существенное по сравнению с невозмущенными условиями увеличение концентрации электронов в течение 50–60 мин в региональной среднеширотной D-области ионосферы через 5–10 мин после момента прохождения УТ после мощной рентгеновской вспышки во время МБ: максимальный рост  $N$  составил 600–800% на 78 и 81 км и 450–550% на 84 и 87 км.

В период МБ обнаружено увеличение значений  $N$  в 2–4 раза по сравнению с невозмущенными условиями во время характерных для терминаторного периода изменений  $N$  (в периоды увеличения значений  $N$  в течение десятков минут).

В рамках гипотезы о высыпании электронов из магнитосферы в период МБ по экспериментальным данным выполнены оценки энергетических характеристик потоков электронов и показана возможность стимулированного терминатором высыпания электронов. Величина потоков электронов во время МБ составляла  $p \approx (0.6 - 8.8) 10^9 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Значения потоков электронов после сильной рентгеновской вспышки оказались в несколько раз выше по сравнению с другими периодами. Полученные значения потоков хорошо согласуются с теоретическими оценками и с известными экспериментальными, полученными во время возмущений различной природы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Gokov A.M., Tyrnov O.F. Peculiarities of the Middle Latitude Ionospheric D-Region Dynamics, Caused by the Solar Terminator // Telecommunications and Radio Engineering. 2003. V. 59. P. 159–172.
2. Gokov A.M., Tyrnov O.F. Some Features of Lower Ionosphere Dynamics Caused by the Morning Solar Terminator // Journal of Atmospheric Electricity. 2002. V. 22, № 1. Pp. 13–21.
3. Гоков А. М. Отклик среднеширотной D-области ионосферы на природные явления. Монография. Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrucken. 2014. 300 с. ISBN: 978-3-659-62182-6.
4. Tyrnov, O. F., Garmash K. P., Gokov A. M., Gritchin A. I., Dorohov V. L., Kontzevaya L. G., Kostrov L. S., Leus S. G., Martynenko S. I., Misyura V. A., Podnos V. A., Pokhilko S. N., Rozumenko V. T., Somov V. G., Tsybmal A. M., Chernogor L. F., Shemet A. S. The radiophysical observatory for remote sounding of the ionosphere // Turkish Journal of Physics. 1994. V. 18. P. 1260–1265.
5. Gokov A.M. Simultaneous Determination of Electron Density and Electron–Neutral Molecule Collision Frequencies in the Ionospheric D–region by a Partial Reflection Technique // Telecommunications and Radio Engineering. 2003. V.60, №10–12. P. 145–158.
6. Chernogor, L. F., Garmash K. P., Rozumenko V. T. Flux parameters of energetic particles affecting the middle latitude lower ionosphere // Радиопизика и радиоастрономия. 1998. Т. 3, №2. С. 191–197.