

## **ИОНОСФЕРНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НАД НОВОСИБИРСКОМ ДО, ВО ВРЕМЯ И ПОСЛЕ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

*Анастасия Юрьевна Белинская*

Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы СО РАН, 630060, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика. Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник, тел. (913)477-60-18, e-mail: anbell@ngs.ru

*Олег Митрофанович Грехов*

Алтае-Саянский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы СО РАН, 630060, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика. Коптюга, 3, инженер-исследователь, тел. (913)477-60-18

В представленной работе рассмотрены методики для выявления сейсмо-ионосферных вариаций по данным вертикального зондирования ионосферы. Используя результаты многолетнего мониторинга ионосферы на Геофизической обсерватории «Ключи» (Новосибирск), были исследованы возможные эффекты землетрясений (в том числе и в период подготовки) на ионосферу. Рассмотрены землетрясения с магнитудой  $M > 5$  и удаленностью эпицентра от обсерватории не более 850 км.

**Ключевые слова:** ионосфера, землетрясение, предвестники землетрясений, система литосфера – атмосфера – ионосфера.

## **IONOSPHERIC MEASUREMENTS OF NOVOSIBIRSK BEFORE, DURING AND AFTER EARTHQUAKES**

*Anastasiia Yu. Belinskaia*

Altai-Sayansk branch of Federal state budgetary institution of science of Geophysical service of the Siberian office of the Russian Academy of Sciences, 630060, Russia, Novosibirsk, 3 av. of the academician Koptyuga, tel. (913)477-60-18, e-mail: anbell@ngs.ru

*Oleg M. Grekhov*

Altai-Sayansk branch of Federal state budgetary institution of science of Geophysical service of the Siberian office of the Russian Academy of Sciences, 630060, Russia, Novosibirsk, 3 av. of the academician Koptyuga, tel. (913)477-60-18

The results of long-term monitoring of the ionosphere at the Geophysical Observatory «Klyuchi» (Novosibirsk) are used for investigation of the effects of earthquakes to the ionosphere during preparation phase and under shock. We considered the earthquakes with magnitude  $M > 5$  and the epicenter distance from the observatory no more than 850 km.

**Keywords:** ionosphere, earthquake, earthquake precursors, the system Litosfera – atmosphere – ionosphere.

В настоящее время очень актуальны работы по расширению наших знаний о процессах в сложной системе Литосфера – Атмосфера - Ионосфера, которые запускаются во время подготовки сильных землетрясений. На повестке дня

стоит вопрос о возможности краткосрочного прогноза землетрясений. Одним из основных результатов исследований последних лет является факт, что прогноз, базирующийся на анализе вариаций какого-то одного из параметров окружающей среды, не может быть достоверным в силу сложности механизма генерации предвестников разного типа. Одновременная регистрация целого ряда признаков, называемых предвестниками, и являющихся проявлением процесса подготовки землетрясения в различных геофизических средах, и является тем фактором, или комплексным предвестником, на базе которого можно строить надежный прогноз [1]. В 2009 году стартовал пилотный проект по комплексному диагностированию предвестников землетрясений на Сахалине [2]. Не последнее место в этих исследованиях отводится измерениям в ионосфере. Данная работа является продолжением работ по влиянию землетрясений на ионосферные параметры над Новосибирском [3, 4].

На Геофизической обсерватории «Ключи» (Новосибирск) ведутся ионосферные наблюдения с 60-ых годов. С конца 90-ых годов XX века на станции был установлен цифровой ионозонд, благодаря чему был накоплен архив данных в цифровом виде. Для анализа вариаций ионосферных параметров под воздействием сейсмоактивности нами были выбраны 6 сильных землетрясений с магнитудой  $M > 5$  и удаленностью эпицентра от обсерватории не более 850 км.

Исследования E-области в период процесса подготовки сильных землетрясений позволили выявить формирование аномальных спорадических Es-слоев. Замечено, что за несколько суток до землетрясения отмечается значительное увеличение критической частоты спорадического слоя ( $f_oE_s$ ), а за сутки до землетрясения происходит уменьшение коэффициента полупрозрачности ( $K$ ). Для выделения аномальных возмущений в ионосфере в период подготовки землетрясений в качестве исходных данных используются значения критической частоты  $f_oE_s$  и частоты экранирования  $f_bE_s$ . Расчет коэффициента полупрозрачности Es-слоя ( $df_bE_s$ ) выполняется для значений  $f_oE_s > f_bE_s$  по формуле:  $df_bE_s = (f_oE_s - f_bE_s) / f_bE_s$ . На следующем этапе вычисляется суточный коэффициент полупрозрачности ( $K$ ) путем осреднения полученных значений коэффициента полупрозрачности за сутки местного времени. Эта методика описана в работах Липеровского В.А., S. Коп и др. [5, 6]. На рис. 1 представлены результаты анализа вариаций  $f_oE_s$  и  $K$  над Новосибирском для одного из выбранных землетрясений. Расчеты проводились для 14 дней до и после события по ежечасным данным ионосферного зондирования. Видно, что за сутки до события коэффициент полупрозрачности упал и восстановился только через 2 суток после него. Увеличение критической частоты спорадического слоя было незначительным.

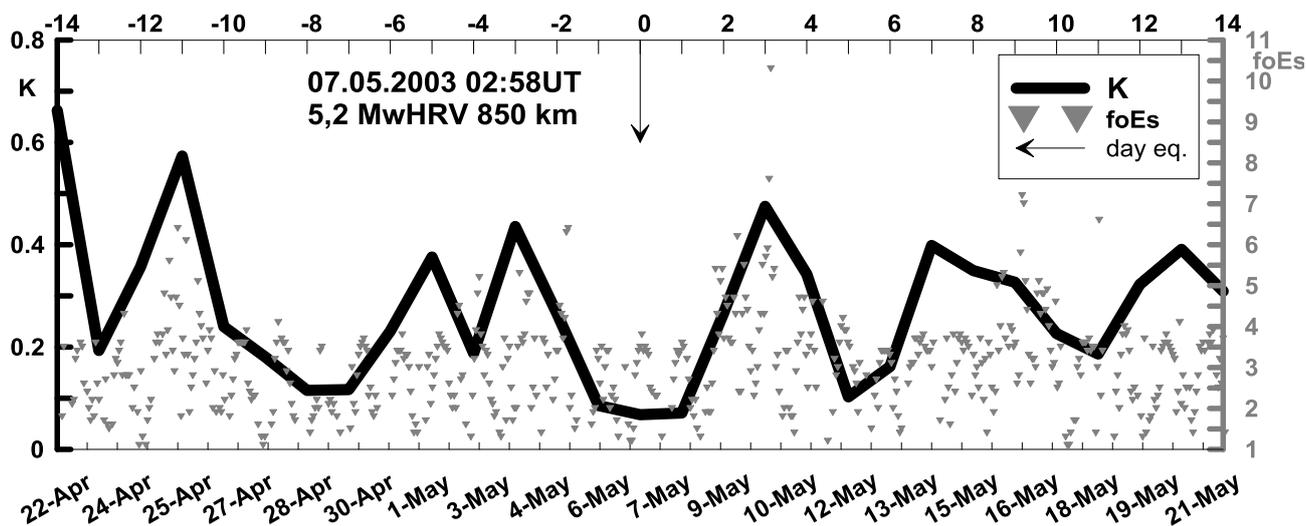


Рис. 1. Вариации foEs и K за 14 дней до, во время и 14 дней после землетрясения 07 мая 2003г. с  $M=5,2MwHRV$  и удаленностью эпицентра от станции «Ключи» на 850 км. Справа ось для foEs, слева - для K

Для выделения аномальных возмущений электронной концентрации на высоте главного максимума ионосферы в качестве фонового значения используется скользящее медианное значение ( $foF2m$ ), рассчитанное по 15 предшествующим числовым значениям для определенного момента времени. Оценка отклонения текущего значения критической частоты от скользящего фонового значения производится по формуле:  $dfoF2=100*(foF2-foF2m)/foF2m$ , где foF2 - часовое значение критической частоты слоя F2. Продолжительное повышение этого значения (не менее 4- 6 часов) в условиях спокойной гелио-геомагнитной обстановки может быть результатом реакции ионосферы на процесс подготовки землетрясения, т.е. являться предвестником землетрясения. По этим отклонениям строят «маску» ионосферного предвестника землетрясения [7]. На рис. 2 представлен образец подобной «маски» для землетрясения 27 октября 2000 г. с магнитудой  $5,5MwHRV$  и удаленностью 769 км от станции «Ключи». Видно, что за сутки до события было повышение  $dfoF2$  в течение 2-3 часов после продолжительного сильного понижения этой характеристики.

Проведенный анализ показал неоднозначность выявленных вариаций. Для некоторых землетрясений мы можем говорить о наличии сейсмо-ионосферных связей, но, к сожалению, не для всех рассмотренных случаев. Работа в этом направлении необходимо продолжить. Так планируется провести сравнение с данными ионосферного зондирования на ближайших станциях.

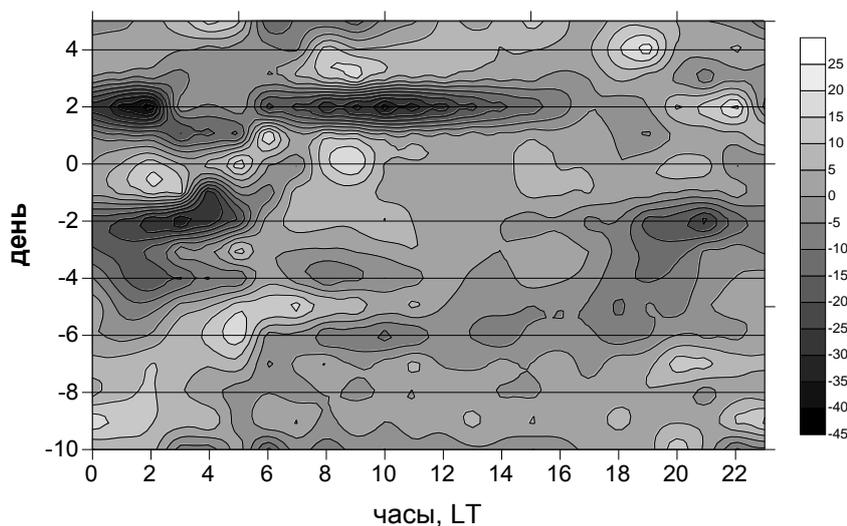


Рис. 2. «Маска» для землетрясения 27.10.2000 с  $M = 5,5 M_w HRV$  и удаленностью 769 км. Справа приведена шкала величины  $dfoF2$

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Единая концепция обнаружения признаков готовящегося сильного землетрясения в комплексной системе Литосфера-Атмосфера-Ионосфера-Магнитосфера / С. А. Пулинец, Д. П. Узунов, А. В. Карелин, К. А. Боярчук, А. В. Тертышников, И. А. Юдин // Гелиогеофизические исследования. - 2013. - Вып. 6. - С. 81-90.
2. Первые результаты пилотного проекта по комплексному диагностированию предвестников землетрясений на Сахалине / С. А. Пулинец, А. А. Романов, Ю. М. Урличич, А. А. Романов мл., Л. Н. Дода, Д. П. Узунов // Геомагнетизм и аэронавигация. - 2009. - Т.49. - №1. - С. 1-10.
3. Сейсмические эффекты в ионосфере по результатам мониторинга F-слоя над Новосибирском / А. Ю. Белинская, С. Ю. Хомутов, О. М. Грехов // ГЕО-Сибирь-2011. VII Международ. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 4. – С. 213-216.
- Белинская А. Ю., Хомутов С. Ю. Возможности магнитно-ионосферных наблюдений в задачах прогноза и диагностики природных и техногенных экстремальных событий // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Международ. науч. конгр. : Международ. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 3. – С. 37–45.
4. Физические модели связей в системе литосфера–атмосфера–ионосфера перед землетрясениями / В. А. Липеровский, О. А. Похотелов, К.-В. Мейстер, Е. В. Липеровская // Геомагнетизм и аэронавигация. - 2008. - № 48. - С. 831–843.
5. Ionospheric anomalies possibly associated with  $M \geq 6.0$  earthquakes in the Japan area during 1998–2010: Case studies and statistical study / S. Kon, M. Nishihashi, K. Hattori // Journal of Asian Earth Sciences. - 2011. - 41. - P. 410–420. - Англ.
6. Зависимость сейсмо-ионосферных вариаций в максимуме слоя F от местного времени / С. А. Пулинец, А. Д. Легенька, Т. И. Зеленова // Геомагнетизм и аэронавигация. - 1998. - №38. - №3. - С. 188-193.

© А. Ю. Белинская, О. М. Грехов, 2015