

Мониторинг ионосферы Земли над территорией Японии в период сейсмических событий

Е.В. Смирнова, А.В. Смирнов

*Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН
(Фрязинский филиал)
141190, Фрязино Московской обл., пл. Б.А.Введенского, 1
E-mail: avs-87@mail.ru*

Показана необходимость мониторинга ионосферы над потенциально сейсмоопасными районами. Приведены результаты анализа состояния ионосферы над территорией Японии в период подготовки и прохождения землетрясения 7 мая 2008 года на о. Хонсю. Подтверждена эффективность метода радиопросвечивания с использованием навигационных спутниковых систем для определения параметров ионосферы.

Ключевые слова: мониторинг, ионосфера, электронная концентрация, метод радиопросвечивания, предвестники землетрясений, спутниковые навигационные системы.

Состояние ионосферы Земли сильно зависит от процессов взаимодействия в системе Земля – Солнце и является объектом систематических исследований. Практическая важность контроля состояния плазменной оболочки Земли стимулировала интенсивное изучение ионосферы, прежде всего как среды распространения радиоволн. Получение информации о пространственном распределении электронной концентрации вдоль трассы распространения радиоволн представляет собой непростую задачу, поскольку высотные профили распределения электронной концентрации ионосферы существенно изменяются как с течением суток, так с долготой и широтой, зависят от сезона, солнечной и магнитной активности. Для получения достаточно полной информации об ионосфере потребовалось бы слишком большое количество измерительных средств, равномерно распределенных по поверхности планеты.

Важной проблемой является мониторинг ионосферы над потенциально сейсмоопасными районами, поскольку установлено, что на стадии подготовки землетрясения ионосфера над эпицентром испытывает характерные возмущения. Наблюдения за состоянием ионосферы во время сейсмической активности привели к пониманию того, что эти возмущения в ионосфере, связанные с процессом формирования и прохождения землетрясений, действительно имеют место.

Изучение сильнейших землетрясений имеет особое значение для успешного продвижения в развитии основных проблем геодинамики, связанных с решением задачи краткосрочного (за 1-3 суток до сейсмического события) прогнозирования таких событий. Анализ характеристик их очаговых зон традиционно оказывается в поле внимания многих геофизиков. Возможности такого анализа могут существенно возрасти с внедрением в сейсмологическую практику новых методов регистрации предвестников землетрясений, основанных на результатах непрерывного мониторинга состояния ионосферы над тектоническими разломами.

Основные сейсмоопасные регионы расположены, как правило, вдоль этих разломов. На территории Японии находится так называемая Срединная тектоническая линия Японии - правый сдвиг, наиболее ярко выраженный на острове Сикоку и в южной части острова Хонсю (рис. 1).

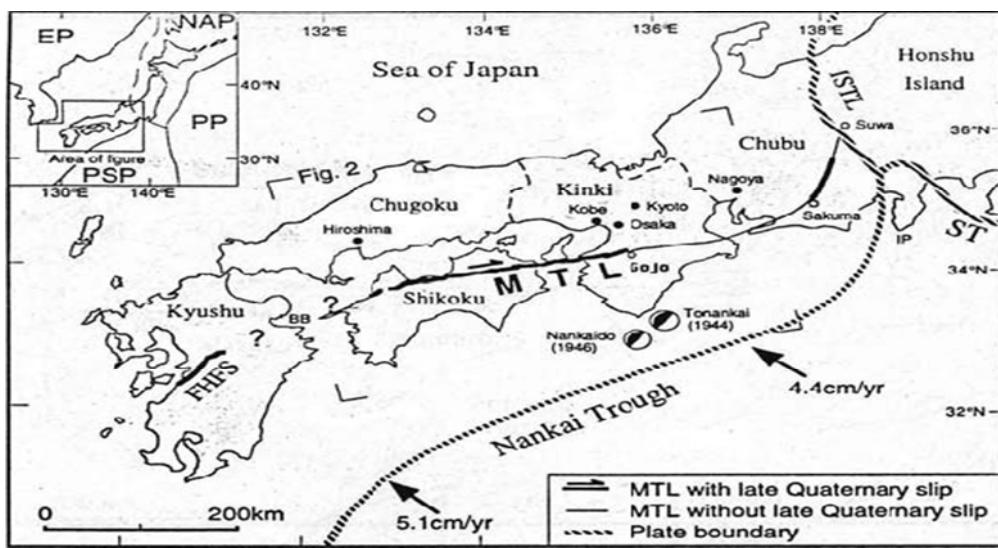


Рис. 1. Современная плейттектоническая ситуация на юго-западе Японии и положение Срединной тектонической линии (MTL), по [1]. Буквенные индексы на врезке: EP - Евразийская плита, NAP - Северо-Американская плита, PP - Тихоокеанская плита, PSP - плита Филиппинского моря; на схеме: BB - залив Benny, FHFS - система разломов Футагава-Хинагу, IP - полуостров Идзу, ISTL - тектоническая линия Итоигава-Шизуока, ST - отрог Сагами

Срединная тектоническая линия Японии и районы, расположенные вблизи нее, в частности, зона поперечных разломов Неодани к северу от г. Нагоя, являются местами, где происходили наиболее сильные внутриостровные землетрясения Японии: Нобийское, 1891 г. ($M=8.0$), Фукуи, 1948 г. ($M=7.1$), Микава, 1945 г. ($M=7.0$). Местоположение этих и других землетрясений показано на рис. 2.

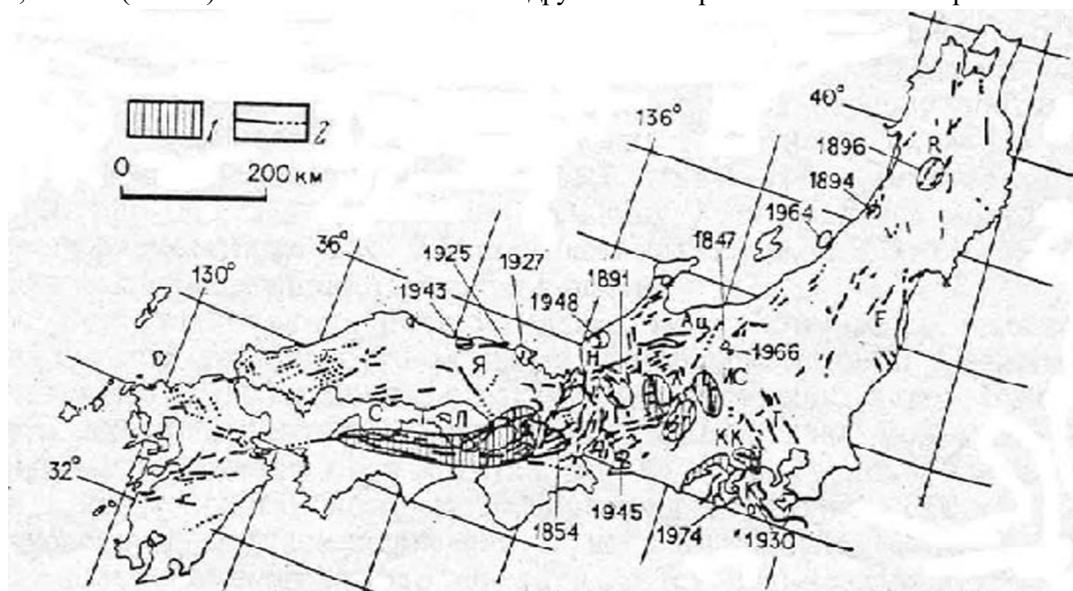


Рис. 2. Живущие разломы Японии, места и годы возникновения сильных землетрясений, по [2]. Цифрами обозначены годы, когда происходили сильные землетрясения

В то же время Срединная тектоническая линия располагается на участке, где отсутствует четвертичный вулканизм – между двух вулканических дуг, выходящих на Японские острова. Регион Японского моря расположен на стыке четырех литосферных плит: Евразийской, Тихоокеанской, Филиппинской и Охотоморской (или Северо-Американской), чем и можно объяснить повышенную сейсмичность данной территории (рис.3). Геотраверс проведен через

Сихотэ-Алинь, глубоководную котловину Японского моря, Японскую островную дугу (в районе северной части о. Хонсю) и северо-западную котловину Тихого океана.

Толщина коры вдоль геотраверса меняется от 35-40 км на Юго-Восточной окраине Азиатского континента до 12-15 км в глубоководной котловине Японского моря. Мощность коры на о. Хонсю составляет около 35 км. Под океаническими структурами, прилегающими к островной дуге, толщина коры не превышает 8 км. Как правило, на этих глубинах находятся эпицентры землетрясений.

Для мониторинга состояния ионосферы над этим регионом можно использовать навигационные приемники международной геофизической службы (IGS). Карта расположения этих приемников представлена на рис. 4. На карте представлено расположение 7 приемников, данные с которых доступны в сети Интернет по адресу: <ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov>. Несмотря на небольшое их количество, получаемой информации вполне достаточно для проведения мониторинга ионосферы методом радиопросвещивания, разработанным в Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова и позволяющим, даже при наличии одного приемника, определять распределение электронной концентрации ионосферы над территорией свыше 3 млн. кв. км.



Рис. 3. Геологические разломы региона Японского моря

В качестве примера, для одного из пунктов на рис.5 представлены траектории подионосферных точек, координаты которых соответствуют координатам проекции точки пересечения луча зрения спутник-Земля с максимумом ионосферы на земную поверхность. Эти траектории получены по наблюдениям с одного пункта в течение суток.



©GMF 2008 Oct 31 16:47:04

Рис. 4. Расположение приемников сети IGS на территории Японии

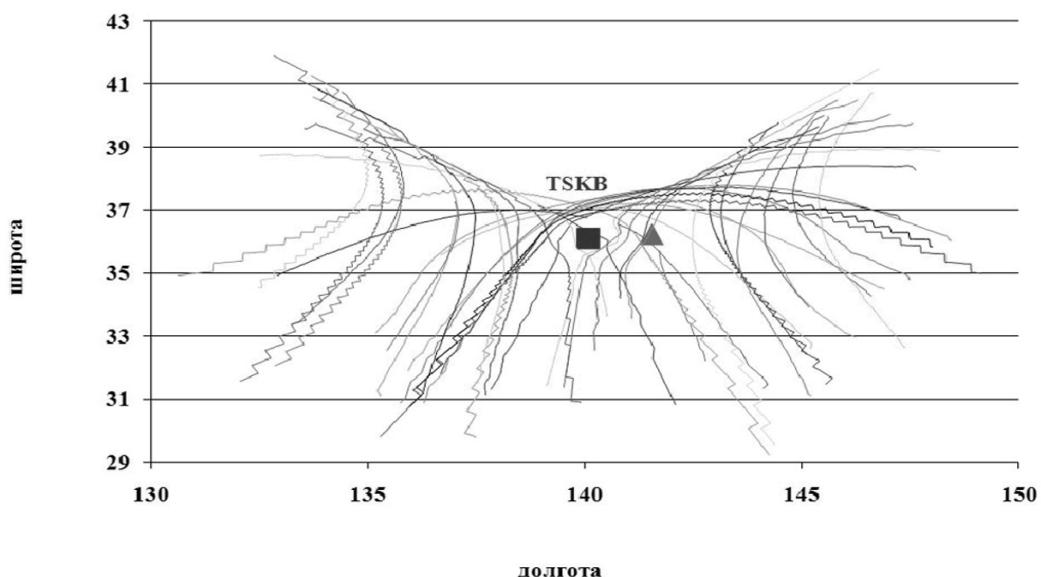


Рис. 5. Траектории подионосферных точек по наблюдениям с одного пункта за сутки

Метод радиопросвещивания позволяет получать высотные профили электронной концентрации ионосферы вдоль каждой такой траектории с дискретностью, определяемой используемым приемником. Одновременное наблюдение одних и тех же спутников с нескольких наземных пунктов позволяет контролировать состояние ионосферы практически над всей территорией Японии. Именно эта информация может быть использована для краткосрочного прогнозирования сейсмической активности.

Изменение значения электронной концентрации в максимуме ионосферы в течение восьми суток, полученные по наблюдениям некоторых спутников, представлены на рис. 6.

Высотные профили распределения электронной концентрации показаны на рис. 7.

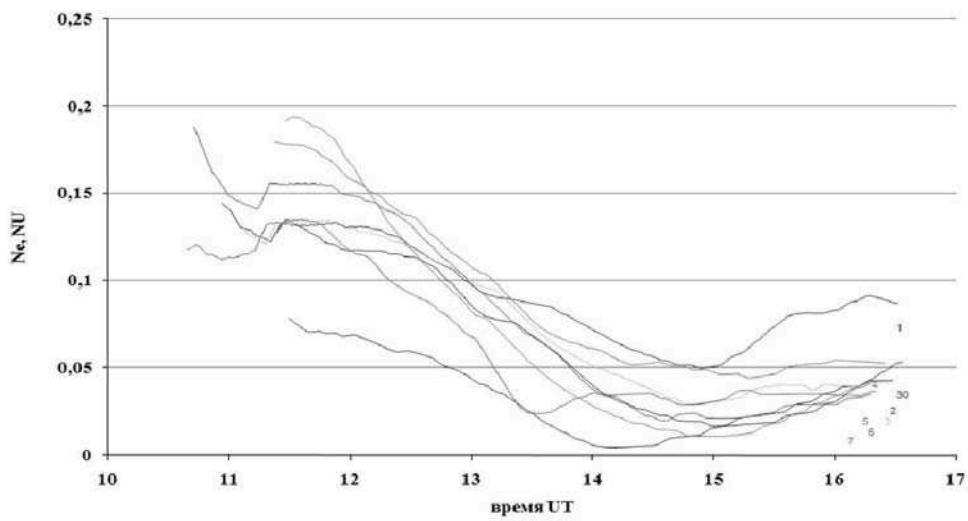
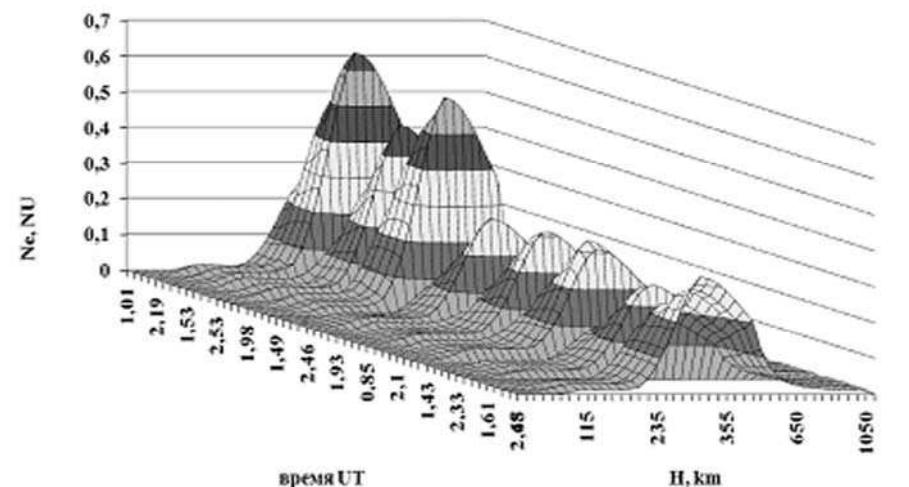
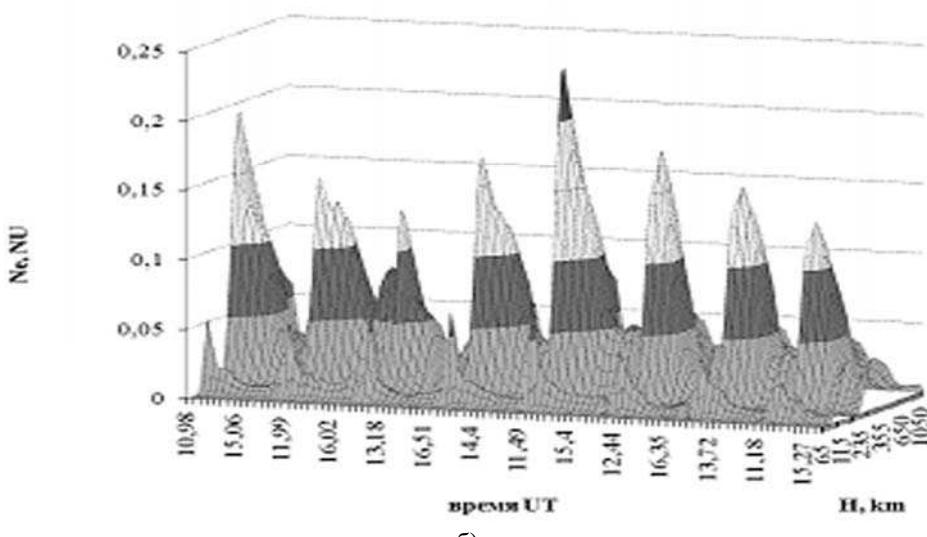


Рис. 6. Вариации значения максимума ионосферы в течение восьми суток над одной и той же территорией



a)



б)

Рис. 7. Пространственно-временные вариации профиля электронной концентрации для двух наземных пунктов

Высотные профили распределения электронной концентрации были получены во время землетрясения, которое произошло на восточном побережье японского острова Хонсю 7 мая 2008 года. Всего за сутки в этом регионе зарегистрировано 16 землетрясений. Магнитуда сильнейшего из них составила $M=6,6$. Анализируемый период времени захватывал как период подготовки, так и само событие. По полученным результатам можно сделать вывод, что в регионе, характеризующемся высокой сейсмической активностью, метод радиопросвечивания позволяет определять пространственно-временные вариации ионосферы, вызванные сейсмическими эффектами. Это хорошо видно на рис. 7с, где за 4-5 суток до землетрясения наблюдается монотонный рост электронной концентрации, который затем сменяется на падение за 2 суток до предстоящего землетрясения. Такие вариации электронной концентрации в течение наблюдавшегося периода в 5-7 суток являются отличительным признаком сейсмоионосферных вариаций [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке программ Президиума РАН "Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце-Земля" и ОФН РАН «Плазменные процессы в солнечной системе».

Литература

1. *Мацууда Т.* Сейсмические шрамы // Методы прогноза землетрясений. Их применение в Японии // М.: Недра, 1984. С. 39-66.
2. *Mikumo T., Ando M.* A search into the faulting mechanism of the Great Nobi earthquake // J. Phys. Earth. 1976. V. 24. P. 63-87.
3. *Смирнов В.М.* Решение обратной задачи радиопросвечивания ионосферы Земли градиентными методами // Радиотехника и электроника, 2001. Т.46. №1 С.47-52.
4. *Бондур В.Г., Смирнов В.М.* Метод мониторинга сейсмоопасных территорий по ионосферным вариациям, регистрируемым спутниками навигационными системами // Доклады Академии наук, 2005. Т.402. №5. С.675-679.

The earth ionosphere monitoring during seismic events in Japan

E.V. Smirnova, A.V. Smirnov

Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics RAS (Fryazino branch)
141190, Fryazino, Moscow reg., sq. Vvedenskogo, 1
E-mail: avs-87@mail.ru, avs-87@mail.ru

The necessity of ionosphere monitoring above potentially seismic regions is shown. The state of ionosphere during seismic events in Japan on May, 7, 2008 has been analyzed. The efficiency of radio translucence method with use of GPS for the ionosphere parameters determination has been proved.

Keywords: monitoring, ionosphere, electron density radio translucence method, earthquake precursor, satellite navigation systems.