

**КОМПЛЕКСНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПРЕДВЕСТНИКОВ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ОСНОВЕ ГЕЛИО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

**COMPLEX DIAGNOSIS OF EARTHQUAKE PRECURSORS ON THE BASIS OF
HELIO-GEOPHYSICAL DATA OF REMOTE SENSING**

А.А. Романов, А.А. Романов, С.В. Трусов

*ФГУП Российский научно-исследовательский институт космического
приборостроения*

In the frameworks of the research the main principle of the earthquake precursors complex diagnose and its revealing in the “atmosphere-lithosphere” system by means of the remote sensing data is given. The cross correlations and dependencies of the major geophysical media parameters are studied and the items of the precursor phenomenon diagnose are illustrated.

Введение

В последние десятилетия с развитием методов дистанционного зондирования Земли был зарегистрирован ряд физических явлений, преимущественно изменения характеристик электромагнитных полей в околоземном космическом пространстве, приуроченные по времени и месту проявления к крупным землетрясениям, что дает основание предполагать наличие связи между этими явлениями. Среди подобных явлений можно выделить ионосферные эффекты в слоях E и F₂, излучение низких частот, потоки заряженных частиц.

В соответствии с [6, 1] в ионосфере можно зарегистрировать акустико-гравитационные волны (АГВ), источником которых являются солнечная активность, мощные циклоны, грозовые разряды и некоторые другие явления в нижней и средней атмосфере. К тому же, существует мнение, что АГВ могут генерироваться даже перед серьезными землетрясениями, как предвестник данной катастрофы [2].

Поскольку в атмосфере плотность экспоненциально уменьшается с высотой, амплитуда АГВ может серьезно возрасти к верхним слоям атмосферы и вызвать существенные аномалии в распределении нейтральных и заряженных частиц в ионосфере. Аналогичные возмущения могут также возникнуть в вертикальном распределении температуры над поверхностным источником возмущения [3].

Анализ результатов исследований полного электронного содержания ионосферы в сейсмоопасных регионах, проведенных российскими [7] и зарубежными учеными [8, 9], показывает уменьшение максимального значения полного электронного содержания за 2-4 суток до предполагаемого землетрясения.

При взаимодействии с сейсмогенным излучением на частотах 0.1-10 Гц из радиационного пояса Земли происходит выброс заряженных частиц [4]. Регистрируя выбросы частиц в магнитосфере, а также анализируя энергетическое и временное распределение частиц в зарегистрированных всплесках можно оценить параметры грядущего сейсмологического события [4].

Существуют исследования на основе данных, полученных с метеорологических спутников Земли, показывающие наличие аномальных облачных структур, а также геотермальных аномалий (2°-5°) на поверхности Земли [10, 11, 5, 12] предшествующих сильным и разрушительным землетрясениям.

Выделение аномальных характеристик среды не решает проблему поиска предвестниковых явлений. До настоящего времени для сейсмоопасных регионов России и в частности для региона Дальнего Востока не проводилось специализированных исследований, целью которых было бы создание методик или настройка алгоритмов диагностирования предвестников землетрясений в разных средах и их комплексного анализа. Для диагностирования предвестниковых явлений в ионосфере необходимо

провести сбор дополнительных гелиогеофизических параметров (индекс солнечной активности – индекс 10.7, корональная активность солнца, индексы магнитной активности D_{st} и K_p), анализ которых позволит уменьшить вероятность осуществления ошибочного диагноза.

В качестве дополнительного источника информации, а также в целях проведения ретроспективных исследований корреляционных связей между предвестниковыми явлениями различной природы будет осуществляться сбор сейсмометрической информации о произошедших землетрясениях.

Таким образом, необходимо провести эксперимент, основной целью которого станет экспериментальное подтверждение принципов комплексного автоматизированного диагностирования предвестников землетрясений с использованием образцов аппаратуры, работающей по данным отечественных и зарубежных космических навигационных систем. В рамках эксперимента, в дополнение к ионосферным проявлениям геотектонической активности, необходимо рассмотреть аномальные изменения фоновых характеристик нижней атмосферы, геофизических характеристик литосферы, а также аномалий некоторых параметров солнечной активности. Выявление корреляционных связей между зарегистрированными аномалиями (предвестниками землетрясений) и реальными сейсмическими событиями в регионе, а также их классификация, позволит сформировать базу данных признаков предвестников землетрясений, создав впоследствии комплексную модель предвестника землетрясения для региона исследования.

В качестве места проведения эксперимента следует выбрать дальневосточный регион РФ, поскольку это один из самых сейсмоактивных регионов России. По данным каталога землетрясений Центральной Опытно-Методической Экспедиции ГС РАН за последние 12 лет в районе Сахалина произошло более 110 землетрясений, гипоцентр которых находился на глубине менее 40 км и интенсивность превышала 3 балла. Из них 40 имели интенсивность 5 баллов и более (рис.1).

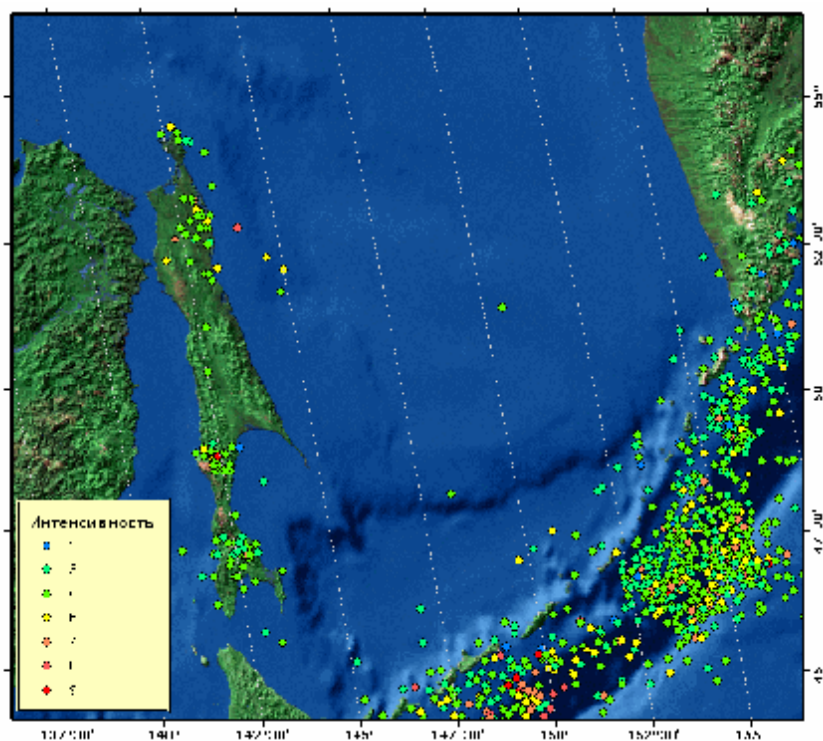


Рис. 1. Распределение землетрясений в Сахалинской области в период 1994-2006 г.г.

Цели и задачи эксперимента

В целом эксперимент направлен на создание и адаптацию методик и алгоритмов автоматизированного диагностирования предвестников землетрясений посредством аппаратуры, работающей по данным российских и зарубежных навигационных систем, а также специализированных искусственных спутников Земли.

Основными целями эксперимента являются:

- экспериментальное подтверждение в сейсмоактивном регионе (о. Сахалин и прилегающие зоны) научных принципов комплексного диагноза предвестников землетрясений, методик и алгоритмов сбора, обработки и распространения мониторинговой информации, основанной на данных существующих российских и зарубежных ИСЗ навигационного, метеорологического и природноресурсного назначения, а также гелиогеофизических данных;
- создание регионального прототипа автоматизированной системы наблюдения ионосферных предвестников землетрясений по данным спутниковых навигационных систем в комплексе с данными деформетрических, сейсмологических и гелиогеофизических измерений.

Для достижения поставленных целей в ходе эксперимента должны быть решены следующие задачи:

- развертывание в сейсмоактивном регионе (о. Сахалин и прилегающие зоны) специализированного оборудования (универсальная томографическая установка в г. Южно-Сахалинск и приемник ГЛОНАСС/GPS в г. Южно-Сахалинск и г. Невельск) и поддержка функционирования уже развернутой томографической цепочки (Ноглики – Поронайск – Южно-Сахалинск);
- сбор комплексных гелиогеофизических характеристик системы «гелиосфера – атмосфера – литосфера» для осуществления диагностирования предвестников землетрясений на территории Сахалинской области Дальневосточного региона России в соответствии с программой исследований;
- осуществление комплексного исследования полученных экспериментальных характеристик системы «гелиосфера-атмосфера-литосфера» и выделение аномалий, соответствующих сейсмической активности;
- адаптация существующих и разработка специализированных методик и алгоритмов обработки данных о состоянии среды;
- проведение анализа, систематизации и классификации полученных результатов;
- создание методики диагностирования предвестников землетрясений на основе комплексного анализа и совместной обработки атмосферно-ионосферно-магнитосферных данных с сейсмометрической информацией, а также базы алгоритмов предвестниковых явлений;
- оценка информативности существующих измерительных средств космического и наземного базирования, формирование требований к перспективным техническим средствам, а также разработка предложений по созданию региональной системы комплексного мониторинга предвестников землетрясений.

Схема комплексного эксперимента

В рамках данного эксперимента предполагается использование исключительно методов и средств дистанционного зондирования среды, основанных, в том числе, на эксплуатации образцов аппаратуры, работающей по данным отечественных и зарубежных космических навигационных систем, специализированных спутников исследования ионосферы, а также с использованием существующих ресурсных и метеорологических космических аппаратов.

Для наблюдения за сейсмо-ионосферными предвестниками землетрясений, в рамках эксперимента будет осуществляться непрерывный томографический мониторинг состояния ионосферы.

Для регистрации динамики изменения параметров ионосферы необходимо обеспечить максимально возможную частоту фиксаций ее состояния. Необходимо иметь уверенность в том, что никакие предвестниковые вариации состояния ионосферы не остались незарегистрированными. Еще одним требованием для обеспечения качественной фиксации состояния ионосферы является время зондирования. Поскольку ионосфера – динамично изменяющаяся среда, то к ней применимы принципы фотографирования динамичных объектов. То есть, чем короче экспозиция, тем выше качество и достовернее отображение. Выполнению этого требования при радиотомографии также способствует использование сигналов со спутников навигационных низкоорбитальных систем, которые имеют достаточно большие угловые скорости $4^\circ/\text{мин}$. Этим условиям наиболее отвечают низкоорбитальные навигационные спутники систем «Цикада/Парус» и «Транзит» которые движутся по орбите высотой около 1000 км, период обращения составляет 104 мин.

Места расположения станций приема системы мониторинга на территории сейсмически активного региона должны быть выбраны с учетом преимущественных направлений пролетов спутников. Наклонения орбит спутников систем «Цикада/Парус» составляют 83° по отношению к экватору, для спутников системы «Транзит» эта величина соответствует 90° .

Поскольку источником акусто-гравитационных волн в ионосфере Земли могут быть не только потенциальные землетрясения, но и другие возмущения (солнечная активность, сильные циклоны и грозы в нижней атмосфере и пр.) необходимо осуществлять сбор дополнительной информации о предвестниках землетрясений. Для учета влияния солнечной активности и выделения сигнатур ее проявления необходимо преимущественно использовать только ночные измерения состояния ионосферы. С другой стороны, данные об индексе солнечной активности и геомагнитном состоянии Земли позволят минимизировать вероятность определения ложной сигнатуры предвестника землетрясения в ионосфере.

Дополнительным источником информации об ионосферных предвестниках землетрясений, в совокупности с данными геофизических наблюдений, может являться информация о полном электронном содержании.

Аномальные облачные структуры, появляющиеся над регионом, в котором происходит подготовка землетрясения, являются актуальной разновидностью предвестниковых явлений в силу природных и климатических особенностей региона Дальнего Востока России.

Повышенная геодинамическая активность, выраженная в интенсификации относительного перемещения и деформации блоков земной коры, также является косвенным признаком подготовки потенциального землетрясения, которую можно регистрировать посредством приемной аппаратуры глобальных навигационных спутниковых систем. Схема проведения экспериментальных работ представлена на рис. 2.

Для осуществления исследований в рамках комплексного эксперимента планируется участие специалистов широкого спектра организаций различных министерств и ведомств: ФГУП «РНИИ КП», ИЗМИРАН, МИФИ, ФГУП «НПО ПМ», ВНИИ ГО ЧС, ИФЗ РАН и др.

Ожидаемые результаты эксперимента

В результате проведения экспериментальных работ ожидается получение следующих основных результатов:

- база данных предвестниковых явлений в регионе исследования по данным комплексного эксперимента;

- методика диагностирования предвестников землетрясений на основе комплексной обработки собираемых данных и базы данных аномальных явлений;
- исходные данные на разработку перспективных бортовых средств измерения характеристик предвестников землетрясений на существующих и перспективных космических аппаратах, в первую очередь на спутниках системы ГЛОНАСС, а также наземных комплексов сбора, обработки и распространения полученных данных;
- продемонстрирована точность определения взаимного расположения точек геодинимического полигона с длинами баз до нескольких десятков километров на уровне 1 мм.

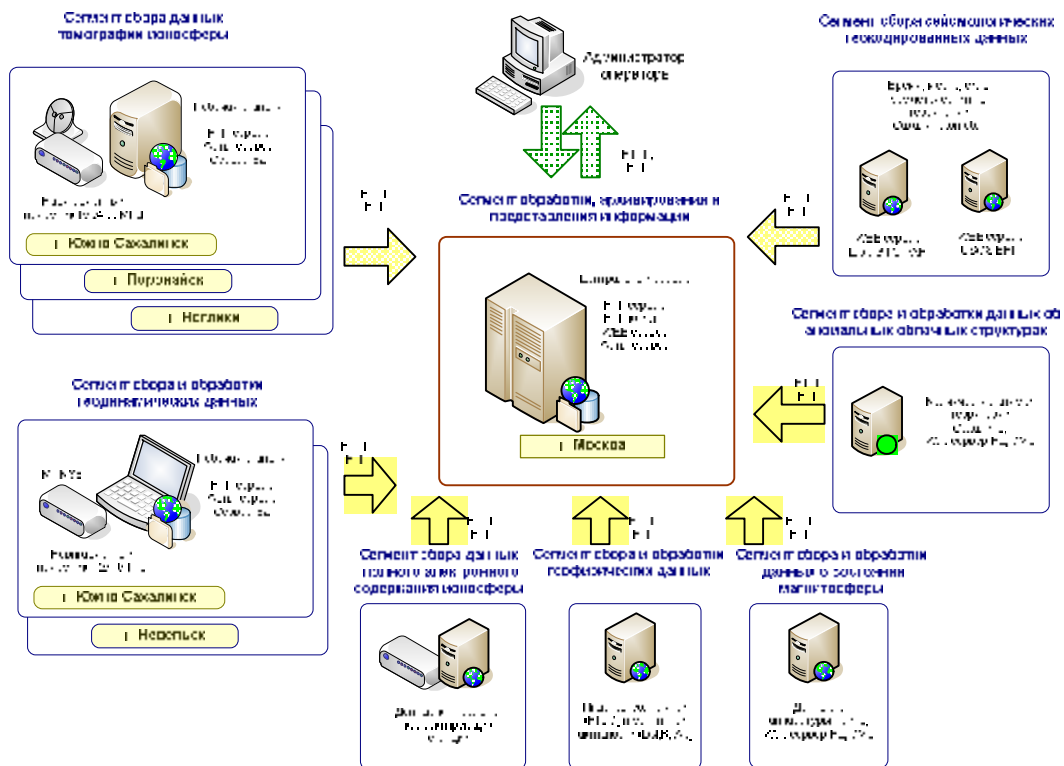


Рис.2 Функциональная схема экспериментальных работ.

Основываясь на комплексном анализе полученных экспериментальных данных, будут разработаны предложения по созданию и развитию системы комплексных наблюдений предвестников землетрясений с использованием космических средств, как составной части системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений Российской Федерации.

Список литературы

1. Андреева Е.С., Гохберг М.Б., Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Худукон Б.З., Шалимов С.Л. Радиотомографическая регистрация возмущений ионосферы от наземных взрывов // Космич. исслед. 2001. Т. 39. № 1. С. 13 - 17.
2. Перцев Н.Н., Шалимов С.Л. Генерация атмосферных гравитационных волн в сейсмически активном регионе и их влияние на ионосферу // Геомагнетизм и аэронавигация. 1996. N36. С. 111 - 118.
3. Ахметов Р.Р., Куницын В.Е. Численный метод решения задачи распространения акустико-гравитационных волн в атмосфере до ионосферных высот // Вестник Московского Университета. Серия 3, 2003. №3. С.38-42
4. Гальпер А.М. Радиационный пояс Земли // 1999, Соросовский Образовательный Журнал, № 6. серия Физика. С.75-81.
5. Тронин А.А. Возможность применения комической тепловой съемки для исследования землетрясений // Исследование Земли из космоса. 2005. № 4. С.86-96.
6. Kunitsyn V., Tereshchenko E. Ionospheric Tomography. Springer-Verlag. 2003. 272p.

7. Plotkin V.V. GPS detection of ionospheric perturbation before the 13 February 2001, El Salvador earthquake // Nat. Hazards and Earth Syst. Sci.. 2003. V.3, P. 249-253.
8. Liu J.Y., Chuol Y.J., Pulinets S.A., Tsai H.F. A study on the TEC perturbations prior to the Reili, Chi-Chi and Chia-Yi earthquakes // in book Seismo Electromagnetics: Litosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling, 2002 Tokyo:TerraPub, P. 297-301.
9. Liu J.Y., Chen Y.I., Jhuang H.K., Lin Y.H. Ionospheric foF2and TEC anomalous days associated with M>5.0 earthquakes in Taiwan during 1997-1999 // Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences. V.15, № 3. P. 371-383.
10. Saraf A. K. Choudhury S. NOAA-AVHRR detects thermal anomaly associated with 26 January, 2001 Bhuj Earthquake, Gujarat, India // International Journal of Remote Sensing. 2005. Vol. 26, No. 6. P. 1065-1073.
11. Yurur M. T. The positive temperature anomaly as detected by Landsat TM data in the eastern Marmara Sea (Turkey): possible link with the 1999 Izmit earthquake // International Journal of Remote Sensing. 2006. V. 27, № 6. P. 1205-1218.
12. Pulinets S.A., Ouzounov D., Karelin A.V., Boyarchuk K.A., Pokhmelnikh L.A. The physical nature of thermal anomalies observed before strong earthquakes // Physics and Chemistry of the Earth. 2006. V.31. P.143-153.

ХАРАКТЕРИСТИКИ F-РАССЕЯНИЯ НА ИОНОГРАММАХ ВНЕШНЕГО ЗОНДИРОВАНИЯ ИСЗ ИНТЕРКОСМОС-19

CHARACTERISTICS OF F-SPREAD ON THE TOPSIDE IONOGRAMM OF INTERKOSMOS-19 SATELLITE

В.А. Телегин, А.Т. Карпачев

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН*

The F-spread phenomenon observing on the topside ionograms of Interkosmos-19 satellite has been investigated. The different types of F-spread associated with the irregularities located at different altitudes of the topside ionosphere are classified. The 3 main types and some additional types associated with the large-scale irregularities of negative and positive sign were detected. Global distribution of occurrence probability (P) of the F-spread in the both hemispheres, for all local times, summer and winter solstices, for the high solar activity in 1979-1981 was built. The longitudinal, latitudinal, diurnal and seasonal variations in the F-spread occurrence probability were investigated. Our analysis shows that the longitudinal variations in P in the first approximation anticorrelate with the NmF2 variations, both in winter and in summer conditions. The latitudinal variations in P have more difference in the 60-90°E and 270-300°E longitudinal sectors. In diurnal variations of the F-spread occurrence probability the daytime, evening and nighttime peaks were revealed. The comparison between topside sounding data and ground based sounding data has been carried out. It is shown that at all the latitudes P in the topside ionosphere is greater than that in the bottom side. The reasons of the revealed F-spread occurrence probability variations are discussed.

Введение

Явление F-рассеяния на ионограммах наземного зондирования изучалось неоднократно, как экспериментальными средствами, так и теоретически (см., например, обзор [2] и ссылки в нем). На ионограммах внешнего зондирования F-рассеяние наблюдается еще чаще, чем на наземных, что, учитывая специфику спутниковых наблюдений, сильно затрудняет их обработку. Поэтому исследование этого явления во внешней ионосфере представляется важным, как с физической, так и с методической точки зрения. Проявления F-рассеяния во внешней ионосфере исследованы слабо, существует всего несколько работ по данным спутников Alouette (см., например, [4]) и Интеркосмос-19 [3], и только, по-видимому, одно исследование по данным ISS-b [5].