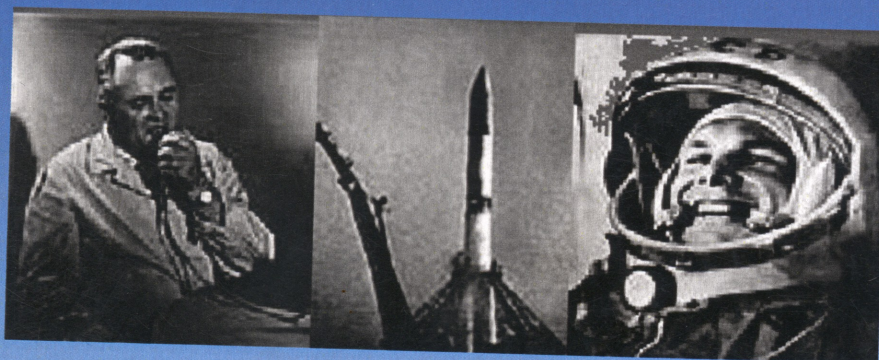


Южная аэрокосмическая научно-исследовательская ассоциация
Украинский научно-производственный центр аэрокосмических проблем

Украинский аэрокосмический журнал



№ 1(3)
2009 год
г. Николаев

X

-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗЕМЛИ-

УДК 550.34.06

Ф.И.Бушуев, *Николаевская астрономическая обсерватория*

Н.А.Калужный, *Николаевская астрономическая обсерватория, Украинский радиотехнический институт*

А.П.Сливинский, *кандидат физико-математических наук, Николаевская астрономическая обсерватория, Украинский радиотехнический институт*

А.В.Шульга, *кандидат физико-математических наук, Николаевская астрономическая обсерватория*

ЭФФЕКТЫ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ПРИХОДУ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН, И ИОНОСФЕРНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ НАД ОЧАГАМИ РУМЫНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2004-2009 ГГ. В НИКОЛАЕВЕ.

В статье изложены результаты сейсмических наблюдений в Николаевской астрономической обсерватории с использованием маятниковых астрономических часов Федченко. Рассмотрены методики и практические реализации краткосрочного сейсмопрогнозирования по ионосферным предвестникам с использованием данных перманентных GPS станций и сигнальной информации СДВ радиостанций служб точного времени.

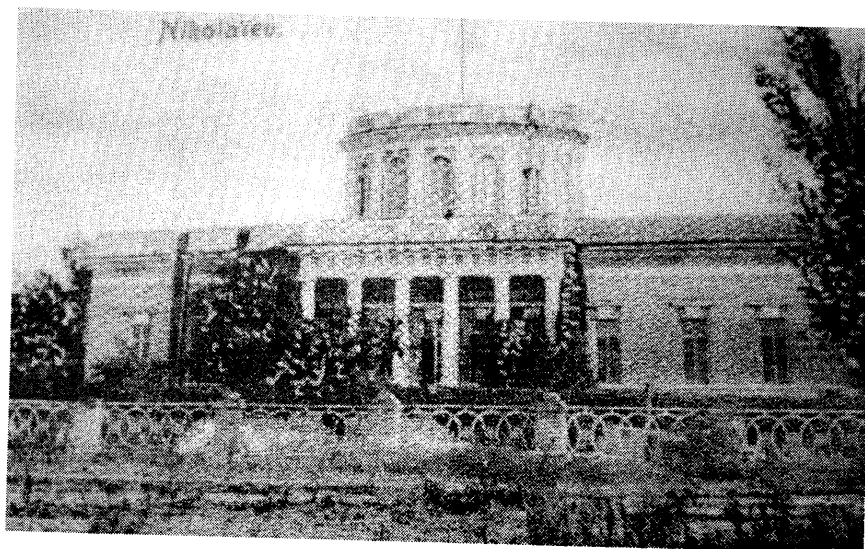
В статті викладено результати сейсмічних спостережень в Миколаївській астрономічній обсерваторії з використанням маятникових астрономічних годинників Федченка. Розглянуто методики та практичні реалізації короткострокового сейсмопрогнозування по іоносферним провісникам з використанням даних перманентних GPS станцій та сигнальної інформації НДХ радіостанцій служб точного часу.

The article presents the results of seismic observations in Nikolaev Astronomical Observatory, using the pendulum astronomical clock Fedchenko. The techniques and practical implementation of the short-term seismic prediction of ionospheric precursors using data from permanent GPS stations and signals VLF radio services accurate time.

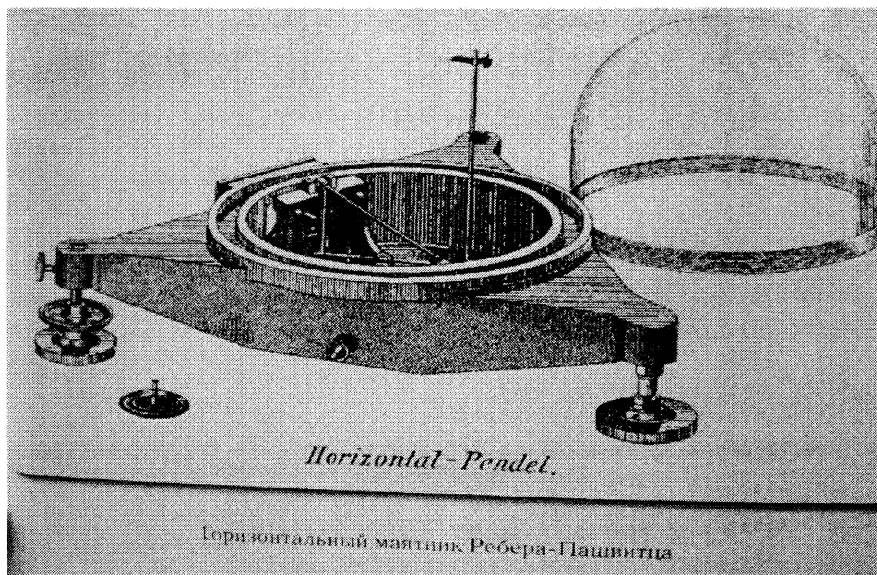
Ключевые слова: геодинамика, гравидинамика, сейсмодинамика, ионосфера, антикорреляция, радиотрасса, турбулизация, квазиплазменные аномалии.

Введение.

В г. Николаеве с 1829 года начала вести регулярные наблюдения Николаевская астрономическая обсерватория (см. фото ниже).



Ее основная задача – это астрометрические измерения положения звезд для нужд морского флота. Вместе с тем именно здесь впервые на территории Российской Империи в 1892 г. были начаты непрерывные сейсмические наблюдения, которые организовал директор обсерватории И.Е. Кортацци (см. фото слева), используя в качестве датчика горизонтальный маятник, который ему предоставил немецкий астроном Ребер-Пашвитц [Пинигин Г.И. и др.] (см. фото ниже)



В настоящее время Николаевская астрономическая обсерватория обрела статус научно-исследовательского института (НИИ НАО). В НИИ НАО ведутся наблюдения за положением малых планет, астероидов, искусственных спутников Земли и космического “мусора”. В настоящее время в качестве датчика для гравиметрических измерений в НИИ НАО используется вертикальный маятник известный как астрономические часы Федченко (АЧФ). В отличие от гравиметра, изменения гравитационного поля и деформационных процессов на основе показаний АЧФ осуществляется за счёт измерения изменений хода времени и периода колебаний маятника. Последнее обстоятельство предоставляет как раз и даёт возможность использования показаний АЧФ для исследования колебательных процессов и возмущений в широком диапазоне частот в интересах геодинамики, гравидинамики и сейсmodинамики. В НИИ НАО проводятся широкие поиски признаков подготовки землетрясений и предшествующих им сейсмических, деформационных и электромагнитных аномалий. Исследования предвестников землетрясений в качестве краткосрочного прогнозирования остаются одной из основных проблем современной физики. На основе данных перманентных GPS-станций накоплен достаточный материал по возмущениям F -слоя ионосферы над очагами подготовки землетрясений [Захаренкова и др., 2003; Horie et al., 2007; Pulinets et al., 2003; Zakharenkova et al., 2006]. В некоторых исследованиях японских и украинских авторов [Hayakawa et al., 1996, 2005; Molchanov, Hayakawa, 1998] по данным амплитуд сигналов СДВ-радиостанций обнаружено смещение терминаторного времени, а также генерация акустико-гравитационных волн для радиотрасс вблизи очагов подготовки землетрясений. Первые наблюдения возмущений импульсного электромагнитного поля (ИЭМП)

перед землетрясениями начаты под руководством проф. А.А.Воробьева [Воробьев, 1970] в районах оз. Байкал, Камчатки и Средней Азии. Интенсивность ИЭМП измерялась методом подсчета импульсов. В сборнике работ [Поиск..., 1988] отмечалось уменьшение амплитуды сигналов СДВ-станций для радиотрасс, проходящих над очагами подготовки землетрясений. Целью настоящей работы является исследование возможности выделения и объединения указанных феноменов перед некоторыми румынскими землетрясениями.

Для получения исходных банков наблюдательных данных в НАО (Николаевская Астрономическая Обсерватория) использовался комплекс аппаратуры для наклонного зондирования ионосферы в длинноволновом диапазоне 77,5 и 66,6 кГц, 2-х частотный GPS приемник Trimble 4700 (сайт MIKL международной сети IGS (International GNSS Service)) и широкополосный датчик импульсных электромагнитных излучений (ИЭМП) [Сливинский и др., 2006, 2008 (б)]. С целью подтверждения сейсмических событий и реализации комплексного подхода к исследованию процессов формирования и развития возмущений над очагом подготовки землетрясений с 2005 г. в НАО проводится регистрации сейсмических колебаний по показаниям маятниковых астрономических часов Федченко (АЧФ). Показания АЧФ с точностью 10^{-8} с сверяются с показаниями времени атомного стандарта частоты службы времени НАО, оцифровываются и сохраняются в банке данных [Сливинский и др., 2009]. Контроль шкал времени всего комплекса осуществляется по секундным сигналам GPS приемника Resolution-T.

Использование АЧФ для сейсмологических исследований.

Для регистрации и подтверждения сейсмических событий, на протяжении ряда лет в НАО успешно используются маятниковые астрономические часы Федченко, шкала времени которых ежесекундно контролируется по GPS приемнику Resolution-T и рубидиевому стандарту частоты Ч1-74. По состоянию на 20.08.2009 с помощью АЧФ зарегистрировано 67 землетрясений, эпицентры которых находились от пункта регистрации на расстояниях от 195 км до 16700 км. За несколько минут перед приходом сейсмических волн в 31 случаях нами наблюдался эффект, интерпретируемый как «предшественник», проявляющийся в значительном уменьшении фоновых показаний АЧФ [Сливинский и др., 2009].

Для иллюстрации эффекта на рис.1 приведены сейсмограммы землетрясений, полученные с помощью АЧФ.

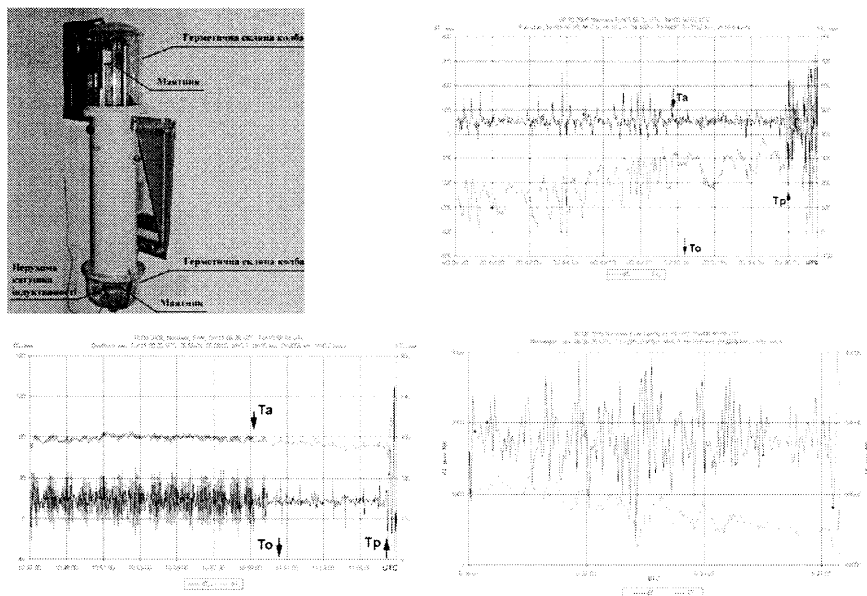


Рис.1. Регистрация сейсмических колебаний маятниковыми астрономическими часами Федченко электромагнитных сигналов очагов землетрясений, разработанной в [Гульельми, Левшенко, 1994, 1995].

Наличие или отсутствие феномена уменьшения дисперсии может быть обусловлено степенью удаленности очага землетрясения от пункта регистрации, магнитудой, глубиной эпицентра, особенностями строения среды вдоль трассы распространения сигналов, а также уровнем акустических шумов.

В качестве одной из возможных гипотез появления феномена мы рассматривали возможность воздействия на индукционную катушку часов Федченко электромагнитного дипольного излучения из эпицентра землетрясения [Сливинский и др., 2009]. Основанием для такого предположения могут служить, например, результаты работ [Поиск..., 1988; Soloviev, Sweeney, 2005]. Рассмотренная гипотеза также в основном поддерживается результатами работ по одновременной регистрации сейсмических и электромагнитных колебаний из очага землетрясений [Гохберг и др., 1989; Левин и др., 1988] и теорий генерации.

Учитывая уникальную чувствительность АЧФ к изменениям гравитационного поля, мы провели спектральный анализ массива наблюдаемых данных δT_i по показаниям АЧФ, усредненным на часовых интервалах времени с 11.12.2007 г. по 10.12.2008 г.

Как показал анализ астрономические часы Федченко могут быть успешно использованы и для контроля ряда геодинамических характеристик, к примеру таких как приливные явления воздействия Луны и Солнца,

свободные колебания Земли, движения ядра, процессы в мантии Земли и др. В таблице 1 приводятся результаты спектрального анализа годового массива данных сравнений хода маятниковых и атомных часов.

Таблица 1

№ п/п	1	2	3	4	№ п/п	5	6	7	8	9
Период, сутки	183.0	28.2	21.5	12.6	Период, часы	25.83	23.93	12.66	12.42	12.02

Наиболее яркий период колебаний соответствует полугодичному циклу 183 сут и примыкающему к нему 52 сут. Кроме того, отчетливо выделяются лунный месячный период (28 сут) и ряд комбинационных периодов.

Исследование возмущений ионосферы над очагами подготовки румынских землетрясений.

Корреляция возмущений амплитуды сигнала СДВ и полного электронного содержания ионосферы.

В сейсмоактивном районе Вранча на интервале сентябрь 2004 г. – август 2009 г. произошло 7 землетрясений, характеристики которых взяты с сайта <http://www.earthquake.usgs.gov> и приведены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики землетрясений, произошедших в интервале времени сентябрь 2004 г. – август 2009 г. в сейсмоактивной зоне Вранча

Дата	Время UT	Координаты, град		H, км	M	D, км
		θ	φ			
27.09.04	09:16:23	45,69	26,4	146	4,7	265
03.10.04	09:02:03	45,2	29,02	5	5,1	260
27.10.04	20:34:36	45,7	26,5	95	5,9	270
14.05.05	20:37:00	45,8	26,6	140	5,2	250
07.05.08	08:00:22	45,39	30,87	10	4,9	194
25.04.09	17:18:49	45,66	26,53	101	5,3	267
05.08.09	07:49:05	43,36	28,66	10	4,7	464

Примечание: θ , φ – северная широта и восточная долгота эпицентра землетрясения, H – глубина эпицентра, M – магнитуда, D – расстояние эпицентра до радиотрассы НАО – DCF-77.

В настоящей работе приводятся данные о возмущениях ионосферы, идентифицированные нами как предвестники землетрясений, для первых 4-х событий, представленных в таблице и произошедших в 2004 – 2005 гг. Данные о последних 3-х событиях (2008 – 2009 гг.) в настоящее время обрабатываются.

По методике, изложенной в работе [Сливинский и др., 2008 (а)], коэффициент корреляции ρ_i возмущений амплитуды сигнала СДВ и возмущений ПЭС рассчитывался по формуле:

$$\rho_i = \frac{\sum_{M1}^{M2} (\Delta A_m - \overline{\Delta A})(\Delta E_{i,m} - \overline{\Delta E_i})}{(M2 - M1)\sigma_{\Delta A}\sigma_{E_i}},$$

где $M1, M2$ — начальный и конечный номера отсчетов времени, соответствующие заданному интервалу времени в течение суток; $\overline{\Delta A}, \sigma_{\Delta A}, \overline{\Delta E_i}, \sigma_{E_i}$ — средние и среднеквадратичные возмущения амплитуды сигнала СДВ (ΔA_m) и возмущения ПЭС ($\Delta E_{i,m}$) соответственно на интервале времени $[M1, M2]$; i — порядковый номер GPS-станции; m — порядковый номер временной выборки.

Оценки возмущений ΔA_m и $\Delta E_{i,m}$ проводились с темпом 5 мин.

Для ионосферного предвестника землетрясений характерна отрицательная корреляция (антикорреляция) возмущений — увеличение полного электронного содержания с синхронным уменьшением амплитуды сигнала СДВ. Исходные 30-секундные значения псевдодальностей $P2$ и $P1$, пропорциональные $\Delta E_{i,m}$, брались из RINEX (Receiver Independent Exchange Format) файлов перманентных GPS-станций, расположенных в евразийском регионе на различных удалениях от эпицентров землетрясений и СДВ-радиотрасс, а сами RINEX-файлы скачивались с сайта <http://sopac.ucsd.edu>.

На рис.2 представлена карта дислокации перманентных GPS-станций. Линиями отмечены радиотрассы DCF-77 — Николаев и РБУ — Николаев. Передатчик РБУ расположен в г. Москва и излучает на частоте 66.6 кГц. Ближайшие к нему GPS-станции ZWE2 и ZWEN находятся в г. Звенигород. Ближайшими GPS-станциями к месту дислокации передатчика DCF-77 являются FFMG и KLOP (г. Франкфурт-на-Майне), а GPS-станция MIKL, как указывалось выше, находится в г. Николаев на территории НИИ НАО.

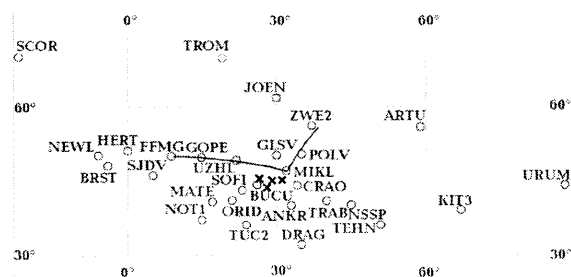


Рис.2. Карта радиотрасс DCF-77 — Николаев, РБУ — Николаев и дислокации перманентных GPS-станций. Крестиками отмечены эпицентры землетрясений из таблицы.

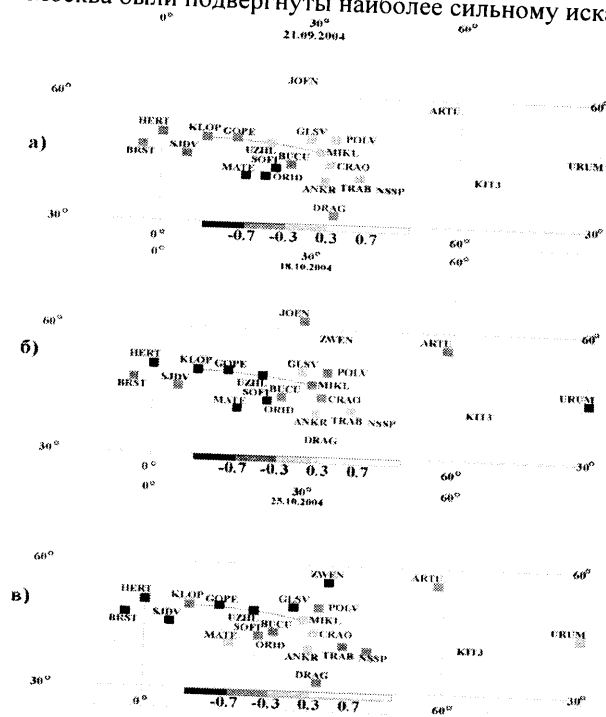
На рис.3 приведены карты коэффициентов корреляции для тех суток, когда абсолютное значение $|\rho_i| > 0,7$, а само значение ρ_i отрицательное. Оценки ρ_i были получены на интервале времени с 09:00 до 12:00 UTC.

В соответствии с данными таблицы, ионосферным предвестником землетрясений 27.09.2004 г. и 03.10.2004 г. может быть корреляционное поле 21.09.2004 г. (рис.3.а). В то же время корреляционные поля 18.10.2004 г.

(рис.3,б) и 25.10.2004 г. (рис.3,в) можно отнести к ионосферным предвестникам события 27.10.2004 г.

Корреляционные поля ионосферных возмущений, предшествующих землетрясению 14.05.2005 г., представлены на рис.3,з (07.05.2005) и рис.3,д (13.05.2005).

В работе [Сливинский и др., 2006] отмечено, что 25.10.2004 г. регистрируемая на комплексе приемной аппаратуры НИИ НАО амплитуда сигнала передатчика РБУ снизилась до уровня шумов. В этой же работе для объяснения такого феномена было высказано предположение, состоящее в том, что особенности поведения сигнала передатчика РБУ могут быть связаны с достаточно сильной пространственной анизотропией возмущения ионосферы. Радиотрасса Николаев — Москва простирается практически вдоль меридиана, тогда как радиотрасса Николаев — Майнфлинген — приблизительно вдоль параллели. Если ионосферное возмущение вытянуто преимущественно вдоль меридиана, то понятно, что сигналы на радиотрассе Николаев — Москва были подвергнуты наиболее сильному искажению.



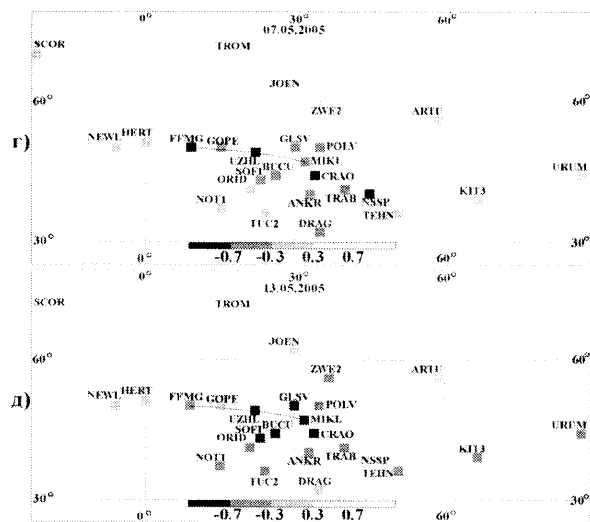


Рис.3. Карта коэффициентов корреляции возмущений амплитуды сигнала передатчика DCF-77, регистрируемой в НИИ НАО, и возмущений ПЭС по данным евразийской сети GPS-станций от 21.09.2004 г. (а), 18.10.2004 г. (б), 25.10.2004 г. (в), 07.05.2005 г. (г), 13.05.2005 г. (д).

Действительно, подобное предположение находит свое экспериментальное подтверждение. Согласно данным, приведенным на карте корреляционного поля от 25.10.2004 (см. рис.3,д), в этот день ионосферное возмущение простирается от г.Николаев (MIKL) до г.Москва (ZWE2).

Следовательно, масштабы F -области ионосферы, подверженной возмущению, лежат в пределах от 10° до 20° по широте и от 20° до 50° по долготе и возрастают с увеличением магнитуды готовящегося землетрясения, что подтверждает оценки величин масштабов возмущений F -слоя ионосферы из работ [Захаренкова и др., 2003; Horie et al., 2007; Pulinets et al., 2003; Zakharenkova et al., 2006].

Метод селекции возмущений времени прохождения терминатором СДВ-радиотрасс.

В работах [Hayakawa et al., 1996, 2005; Molchanov, Hayakawa, 1998] японские исследователи совместно с украинскими учеными анализировали терминаторные времена (ТВ) или экстремальные точки суточных вариаций амплитуды СДВ-сигналов в вечернее и утреннее время. Формирование минимума амплитуды в ТВ обусловлено интерференцией нескольких волновых мод. ТВ являются физически измеряемыми величинами и содержат полезную информацию о долгосрочном изменении верхней атмосферы на пути распространения СДВ-радиоволн. В работе [Molchanov, Hayakawa, 1998] утверждается, что, в то время как среднемесячные оценки ТВ хорошо коррелируют с восходом и заходом Солнца, их отклонения от средних могут быть связаны с сейсмическими процессами. Там же были проанализированы

данные ТВ на интервалах времени от трех до восьми месяцев, центрированных на датах 11 сильных землетрясений. Были обнаружены статистически значимые отклонения (превышающие стандартные 2σ) в характеристиках ТВ, начиная с двух-трех дней перед главным ударом и продолжавшиеся в течение нескольких недель после него.

В настоящей работе также подвергались анализу ежесуточные ТВ для радиотрасс DCF-77 – Николаев и РБУ – Николаев. Из рис.2 видно, что линия терминатора квазиортогональна радиотрассе DCF-77 – Николаев и квазипараллельна радиотрассе РБУ – Николаев. Терминаторные времена определялись по минимальному значению амплитуды СДВ сигнала в предзвездное время. На рис.4 приведена посекундная временная последовательность величины амплитуды сигнала DCF-77 на интервале времени 00:00—04:00 UTC 13.05.2005 г.

Ежесуточные значения утренних ТВ сглаживались методом наименьших квадратов, таким образом, определялся регулярный или средний ход утреннего терминатора на анализируемом интервале времени. Вычислялось среднеквадратическое отклонение (σ) ТВ и строились графики отклонений (Δt_T) ТВ от регулярных значений. В соответствии с этой методикой для двух трехмесячных интервалов времени, включающих румынские землетрясения, были построены графики изменения отклонений Δt_T для радиотрассы DCF-77—Николаев (рис.5).

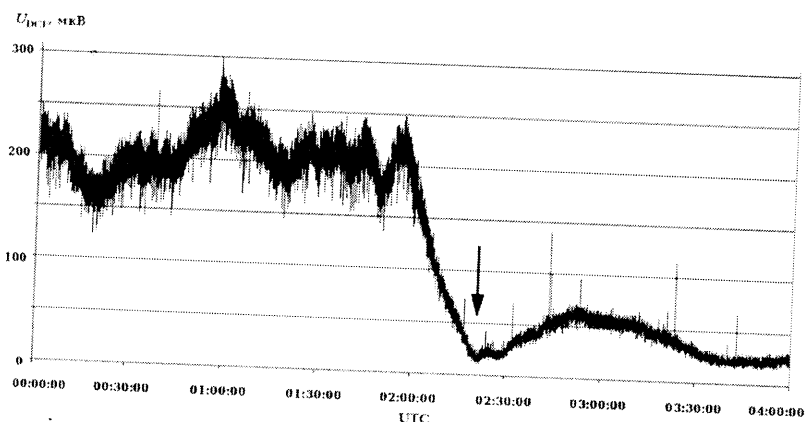


Рис.4. Посекундная временная последовательность амплитуды сигнала DCF-77 на интервале времени 00:00—04:00 UTC 13.05.2005 г. Стрелкой отмечено положение терминатора на оси времени.

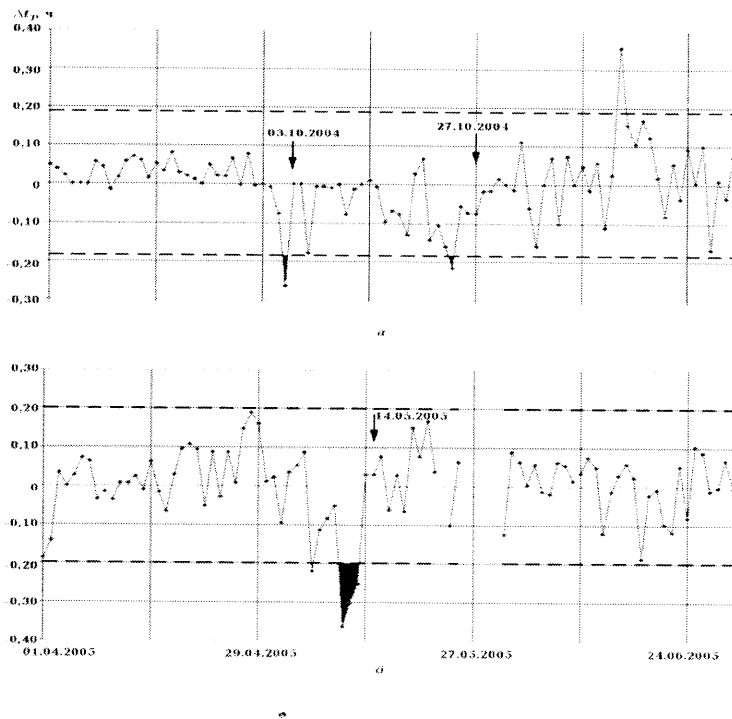


Рис.5. Графики отклонений (Δt) времени прохождения терминатором радиотрассы DCF-77 — Николаев в период: *а* — с 01.09.2004 г. по 30.11.2004 г., *б* — с 01.04.2005 г. по 30.06.2005 г. Пунктиром показаны отклонения, соответствующие двум СКО и принятые в работе [Molchanov, Hayakawa, 1998] в качестве граничных значений.

На рис.5,*а* можно выделить два аномальных отклонения ТВ: первое — 02.10.2004 г. перед землетрясением 03.10.2004 г. и второе — 24.10.2004 г. перед землетрясением 27.10.2004 г. При этом максимальная девиация положения ТВ превышала 20 мин. На рис.5,*б* хорошо видны два аномальных отклонения ТВ: 06.05.2005 г. и с 10.05.2005 г. по 12.05.2005 г. перед землетрясением 14.05.2005 г. В этом случае максимальная девиация составила около 35 мин. Фактически, указанные аномальные смещения положения терминатора приводят к укорочению локальной ночи на ионосферных высотах. Такой феномен мог быть обусловлен турбулизацией и нагревом ионосферы перед землетрясениями, механизм которого обсуждался в работе [Cervone et al., 2006].

Для квазипараллельной терминатору радиотрассы регулярная регистрация амплитуды сигналов РБУ-66 началась с 16.10.2004 г. На рис.6,*а* приведена гистограмма изменения ТВ с 16.10.2004 г. по 31.10.2004 г.

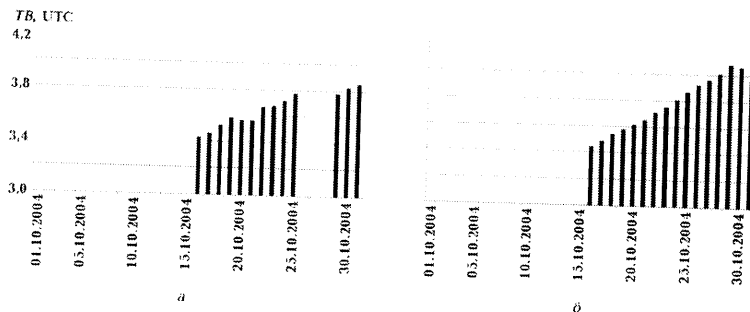


Рис.6.

Положения терминатора 20.10.2004 г. и 21.10.2004 г. отклонились от регулярного хода в сторону уменьшения локальной ночи. Максимальная девиация положения терминатора при этом не превышала 5 мин. Для сравнения на рис. 6, б приведена гистограмма динамики терминатора спустя два года за тот же период времени.

Для радиотрассы квазипараллельной терминатору смещение положения терминатора оказалось менее выраженным, чем для квазиортогональной радиотрассы, на что указывалось в работе [Сливинский и др., 2008 (а)]. К сожалению, в апреле и мае 2005 г. режим работы станции РБУ не позволял получать данные по положению терминатора.

Акустические гравитационные волны, предшествующие румынским землетрясениям.

В работах [Сливинский и др., 2008 (а); Hayakawa et al., 2005; Molchanov, Hayakawa, 1998; Rozhnoiet al., 2005; 11; 12] приведены данные по обнаружению колебаний плотности ионосферной плазмы над очагами подготовки землетрясений с периодами в диапазоне 20—25 мин, за механизм возникновения которых, по мнению авторов, ответственны акустические гравитационные волны, «генерируемые сейсмогравитационными осцилляциями Земли с периодами от десятков минут до часов». Для подтверждения факта генерации АГВ, предшествующей румынским землетрясениям, спектральной обработке был подвергнут двухлетний массив наблюдаемых данных по амплитуде сигнала передатчика DCF-77 (ночные и дневные 128-минутные временные последовательности). При этом исходные спектральные плотности $S(f_j)$, полученные после ДПФ, нормировались к средней мощности в анализируемой полосе частот:

$$s(f_j) = \frac{S(f_j)}{\bar{S}},$$

где f_j — средняя частота j -го фильтра ДПФ, изменяющаяся с шагом $1/(128 \cdot 60)$ Гц и принимающая значения, соответствующие анализируемой полосе частот от $5,2 \cdot 10^{-4}$ до $8,4 \cdot 10^{-3}$ Гц или в периодах колебаний от 31,93 до 2,00 мин, \bar{S} — среднее значение спектральной плотности $S(f_j)$ в анализируемой полосе частот.

На рис.7 для ночных условий распространения СДВ-сигналов представлены как нормированные спектральные плотности $s(f)$, полученные в спокойных геогелиофизических условиях задолго до рассматриваемых румынских землетрясений (рис.7,а), так и $s(f)$, вычисленные за два дня до землетрясения 27.10.2004 г. (рис.7,б) и за день до землетрясения 14.05.2005 г. (рис.7,в)

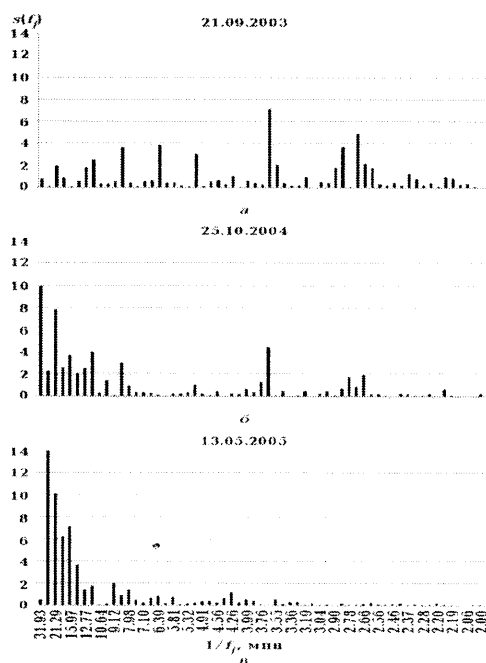


Рис.7. Нормированные спектральные плотности для ночных условий распространения СДВ: а — 21.09.2003 г. в спокойных геогелиофизических условиях задолго до землетрясений, б — 25.10.2004 г. за два дня до землетрясения 27.10.2004 г., в — 13.05.2005 г. за день до землетрясения 14.05.2005 г.

Из сравнения данных, приведенных на рис.7, следует, что спектры, вычисленные по ионосферным данным, избранным задолго до землетрясений, существенно отличаются от спектров, полученных за два дня и за день перед событиями, наличием у последних спектральных составляющих в области колебаний с периодами 20—30 мин.

Возмущения импульсного электромагнитного поля.

В работах [Моргунов, 1985; Поиск, 1988; Toshi et al., 2001] приведен достаточно обширный список публикаций по описанию этого феномена и изложены результаты исследований в этом направлении, согласно которым аномальный ход ИЭМП наблюдался за трое или менее суток перед землетрясениями. На основании этого была предпринята попытка поиска возмущений ИЭМП на частоте передатчика DCF-77. С этой целью по

сигнальной информации амплитуды передатчика DCF-77 проводились исследования частоты появления импульсных помех на отрезках времени постоянной длины. В связи с тем, что исследования характеристик ИЭМП сейсмотектонического происхождения проходят в условиях естественных и искусственных помех, анализу подвергалась амплитуда сигнала на интервале времени, предшествующем землетрясению 27.10.2004 г., когда сводилась к минимуму вероятность появления импульсных помех, связанных с грозовой деятельностью. Для анализа избирались импульсные сигналы в 1,5 раза превышающие амплитуду сигнала передатчика DCF-77. На рис.8 для каждого часа суток приведено число таких импульсов, наблюдавшихся в период с 17.10.2004 г. по 28.10.2004 г.

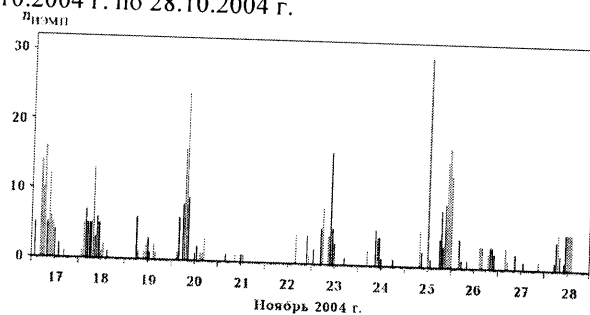


Рис.8. Диаграмма плотности импульсных помех ($n_{ИЭМП}$) на частоте передатчика DCF-77 (число импульсов в час) с 17.10.2004 г. по 28.10.2004 г. На оси абсцисс короткими штрихами показаны часовые метки времени, а длинными и средними — полночь и полдень, соответственно. Время — UTC.

Практически ежесуточные импульсные помехи в дневное время суток связаны, по-видимому, с промышленными помехами, так как очаги гроз в это время отсутствовали на всей длине радиотрассы. По ночам с 22.10.2004 г. на 23.10.2004 г., с 25.10.2004 г. на 26.10.2004 г. и с 26.10.2004 г. на 27.10.2004 г. наблюдались помеховые импульсные сигналы (особенно многочисленные 25.10.2004 г.) в те же сутки, когда был выделен ионосферный предвестник на корреляционном поле (см. рис.3,в). Подобные импульсные помехи могут быть обусловлены распадом короткоживущих контрастных плазменных образований (КПО) в атмосфере над очагом подготовки землетрясения. В экспериментальных условиях КПО наблюдались на высотах до 35 км на экранах радаров метрового диапазона радиоволн над Спитакским очагом подготовки землетрясения [Воинов и др., 1992].

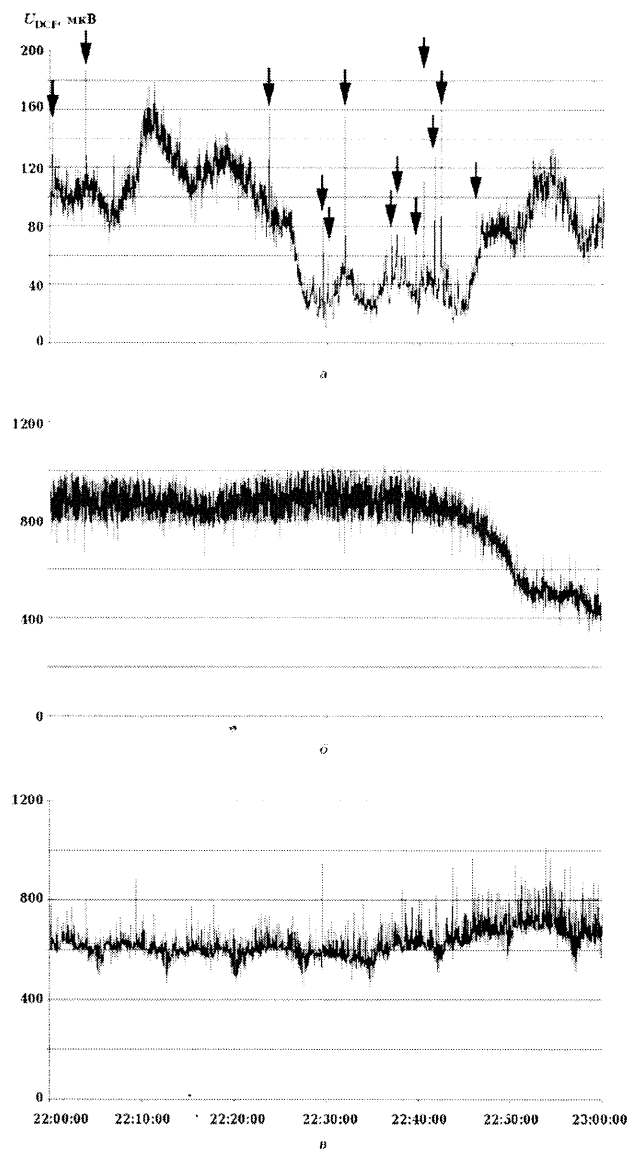


Рис.9. Секундные реализации амплитуды сигнала на частоте передатчика DCF-77, наблюдавшиеся в течение одного часа с 22:00 до 23:00 UTC: а — 25.10.2004 г., б — 04.07.2005 г., в — 23.07.2007 г.

На рис.9,а приведена временная посекундная реализация сигнала и импульсной помехи на частоте передатчика DCF-77, наблюдавшаяся 25.10.2004 г. на интервале времени один час с 22:00 до 23:00 UTC в условиях

отсутствия грозовой деятельности и промышленных помех. Импульсы, вошедшие в статистику, представленную на рис.8, отмечены стрелками.

Для сравнения на рис.9,б приведена реализация временной последовательности для того же интервала времени в период активной летней грозовой деятельности, но при отсутствии достаточно близких очагов гроз, а на рис.9,в — во время ночной грозы 23.07.2007 г., редкой для этого времени суток (отчетливо просматриваются отдельные молниевые разряды).

Таким образом, наблюдаемые импульсные помехи в амплитуде принимаемого сигнала (см. рис.9,а) с большой степенью вероятности обусловлены ИЭМП, предшествующими землетрясению 27.10.2004 г., и могут в дальнейшем учитываться в качестве дополнительного признака предвестника землетрясения.

Применение геофизического радара для сейсмопрогнозирования.

Для обнаружения и исследования локальных квазиплазменных аномалий в атмосфере над очагами подготовки землетрясений предлагается использовать специализированный геофизический радиолокатор ультракоротковолнового диапазона радиоволн (УКВ ГРЛС) [Шульга и др., 2006; Slivinsky et al., 2009]. Квазиплазменные образования могут возникать при выдавливании в областях подготовки землетрясений радона и разного вида газов и аэрозольей, в частности метана CH_4 , углекислого газа CO_2 и CO [Войтов, Добровольский, 1994; Липеровский и др., 2007; Liperovsky et al., 2005]. Время жизни таких образований оценивается в единицы и десятки минут, высоты появления – до 30 км, а эффективная отражающая поверхность на частоте 300 МГц по оценкам, приведенным в [Slivinsky et al., 2009], может составлять величину до 10^5 м^2 . На рис.10 приводится схематическая картина атмосферных возмущений вблизи источника природных либо антропогенных возмущений в атмосфере. Вдоль поверхности Земли отложено расстояние от пункта регистрации, а по оси абсцисс – высота. Между лучами 1 и 2 лежит область пространства, “засвечиваемая” передающей антенной радиолокационной станции с шириной диаграммы направленности антенны $\sim 30^\circ$.

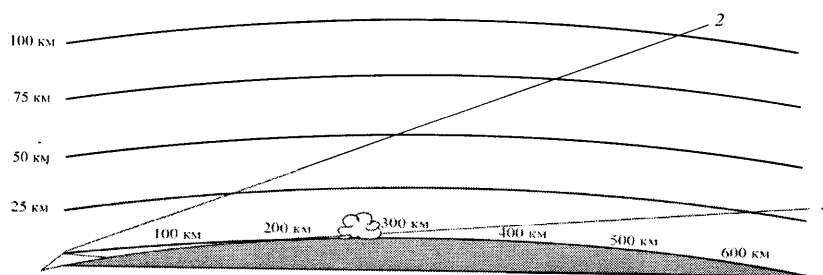


Рис. 10. Область пространства, засвечиваемая антенной УКВ ГРЛС, ширина диаграммы которой составляет $\approx 30^\circ$

Ограничившись обзором пространства не выше 10 км при высоте установки ГРЛС не менее 2 км радиус обзора составит $\sim 300 \text{ км}$.

Особенностью предлагаемого геофизического радиолокатора является контроль достаточно обширной области пространства, заполненной многочисленными рассеивателями в отличие от обычного радара, который выделяет компактные объекты. Согласно имеющимся экспериментальным данным, возмущения в виде плазменных образований в атмосфере в области гроз и над областью подготовки землетрясений носят долговременный характер (сутки–часы). Это позволяет повысить достоверность распознавания местоположения источника на фоне многообразных возмущений с меньшими временами жизни. При этом, контроль заданной области пространства можно осуществлять как методами активной (обратное рассеяние или «на просвет»), так и пассивной радиолокации. С учетом указанных требований представлена архитектура модульного комплекса ГРЛС. Учитывая возможность когерентного накопления сигнала в течение времени жизни квазиплазменных областей в атмосфере (вплоть до десятка минут), можно использовать маломощные передатчики.

Заключение.

В результате проведенных исследований возмущений сигналов СДВ-передатчиков DCF-77 и РБУ, регистрируемых в НИИ НАО, и данных наблюдений системы перманентных станций GPS обнаружена достаточно высокая корреляция возмущений, предшествующих землетрясениям в зоне Вранча. Оценки масштабов областей возмущений ионосферы составляли порядка 1000 км, что согласуется, например, с результатами оценок масштабов в работах [Науакawa et al., 1996, 2005; Molchanov, Науакawa, 1998]. Перед румынскими землетрясениями выделены колебания плотности ионосферной плазмы с периодами в интервале 20—30 мин, что подтверждает результаты работ японских исследователей по генерации АГВ [Науакawa et al., 2005; Molchanov, Науакawa, 1998], а также выводы этих авторов об аномально больших смещениях времени прохождения терминатора в предшествующие землетрясениям дни. В качестве дополнительных признаков ионосферных предвестников землетрясений, значительно увеличивающих их достоверность, могут выступать дополнительно обнаруженные импульсные помехи в составе амплитуды сигналов СДВ-передатчиков в дни, предшествующие землетрясениям.

В целях улучшения достоверности сейсмопрогнозирования предлагается использовать методы как активной, так и пассивной локации в УКВ диапазоне радиоволн. В случае пассивной локации используется только приемная позиция и анализу подвергается помехи в зависимости от азимута антенны.

Получены длительные временные ряды наблюдений сейсмических волн от удаленных землетрясений с использованием маятниковых астрономических часов Федченко. При анализе экспериментальных данных было обнаружено, что за несколько минут до прихода сейсмических волн от некоторых сильных землетрясений наблюдались специфические искажения показаний АЧФ. Обзор литературных данных и оценочные расчеты показывают, что одним из гипотетических механизмов возникновения обнаруженного явления может

быть электромагнитный. Для более определенных выводов нужны дополнительные исследования.

Обобщающим результатом работы является вывод о необходимости комплексного подхода к проблеме сейсмпрогнозирования с использованием современных регистрирующих и вычислительных средств контроля окружающей среды.

Литература

1. Воинов В. В., Гуфельд И. Л., Кругликов В. В., Ледовский И. С., Маренко В. Ф., Миранян Ф. П., Панаджян В. Г., Ямпольский В. С. Эффекты в ионосфере и атмосфере перед спитакским землетрясением 7 декабря 1988 г. // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. — 1992. — №3. — С.98—101.
2. Войтов Г.И., Добровольский И.П. Химические и изотопно-углеродные нестабильности потоков природных газов в сейсмически активных регионах // Физика Земли. 1994. № 3. С.20–31.
3. Воробьев А. А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. — 1970. — №12. — С.3—13.
4. Гохберг М.Б., Крылов С.М., Левшенко В.Т. Электромагнитное поле очага землетрясений // Докл. АН СССР. 1989. Т. 308, № 2. С.62-65.
5. Гульельми А.В., Левшенко В.Т. Электромагнитные сигналы от землетрясений // Физика Земли. 1994. № 5. С.65–70.
6. Гульельми А.В., Левшенко В.Т. Вопросы теории сейсмoeлектромагнитных сигналов. М.: ОИФЗ РАН, 1995. 12 с.
7. Захаренкова И. Е., Шагимурагов И. И., Лаговский А. Ф., Ефишов И. И. Ионосферные предвестники землетрясений, полученные по данным GPS-наблюдений // Тез. докл. IX регион. конф. по распространению радиоволн (Санкт-Петербург, 28—30 окт. 2003 г.). <http://radio4.niirf.spbu.ru/conf/nine/26.doc>
8. Левин Дж., Левшенко В.Т., Садовский А.М. О некоторых особенностях регистрации землетрясений безинерционным сейсмометром // Докл. АН СССР. 1988, Т. 300, № 2. С.326–328.
9. Липеровский В.А., Михайлин В.В., Шевцов Б.М., Давыдов В.Ф., Богданов В.В., Умарходжаев Р.М. Об инфракрасном излучении в атмосфере перед землетрясениями // Геофиз. исслед. 2007. Вып.8. С.51–68.
10. Моргунов В. А. Об электромагнитном излучении при сейсмической активности // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. — 1985. — №3. - С.77—85.
11. Пинигин Г.И., Эраль С.Ф. Династия астрономов Кнорре. Николаев.: Атолл, 2009. 144с.
12. Поиск электромагнитных предвестников землетрясений // Под ред. М. Б. Гохберга — Москва: Изд-во ИФЗ, 1988. — 243с.
13. Сливинский А. П., Бушуев Ф. И., Калужный Н. А., Образцов Ю. М., Шульга А. В. О возможности краткосрочного прогноза разрушительных землетрясений по сигнальной информации сверхдлинноволновых передатчиков // Геофиз. журн. — 2006. — 28, №2. — С.109—117.

14. Сливинский А. П., Бушуев Ф. И., Калюжный Н. А., Шульга А. В. Корреляция сигнальной информации СДВ- и GPS-приемников перед румынским землетрясением 14.05.2005 г. // Геофиз. журн. — 2008 (а). — 30, №2. — С.116—122.
15. Сливинский А.П., Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Шульга А.В. Эффекты проявлений возмущений ионосферы над очагами подготовки румынских землетрясений// Геофизический журнал – 2008 (б). – 30, №3. - С. 95-104.
16. Сливинский А.П., Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А. Аномалии показаний астрономических часов Федченко перед некоторыми сильными землетрясениями // Сейсмические приборы – 2009. - 45, № 1.- С. 62-76.
17. Шульга А.В., Бушуев Ф.И., Калюжный Н.А., Образцов Ю.М., Сливинский А.П., Терехов А.С.. О возможности краткосрочного прогноза землетрясений по сигнальной информации наземных СДВ радиопередатчиков, GPS и геофизического радара. International Conference “Enlargement of Collaboration in Ground-based Astronomical Research in See Countries, Studies of the Near-Earth and Small Bodies of the Solar System”. Ukraine, Nikolaev, 2006, p. 95.
18. Cervone G., Maekawa S., Singh R. P., Hayakawa M., Kafatos M., Shvets A. Surface latent heat flux and nighttime LF anomalies prior to the Mw=8.3 Tokachi-Oki earthquake // Natural Hazards Earth System Sci. — 2006. - 6. - P.109—114.
19. Horie T., Yamauchi T., Yoshida M., Hayakawa M. The wave-like structures of ionospheric perturbation associated with Sumatra earthquake of 26 December 2004, as revealed from VLF observation in Japan of NWC signals // J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys. —2007. — 69, issue 9. — P.1021—1028.
20. Hayakawa M., Molchanov O. A., Ondoh T., Kawai E. Precursory signature of the Kobe earthquake on VLF subionospheric signal // J. Atmos. Electr. — 1996. — 16. — P.247—257.
21. Hayakawa M., Shvets A. V., Maekawa S. Subionospheric LF monitoring of ionospheric perturbations prior to the Tokachi-oki earthquake and a possible mechanism of lithosphere-ionosphere coupling // Adv. Polar Upper Atmos. Res. — 2005. — 19. — P.42—54.
22. Liperovsky V.A., Meister C.-V., Liperovskaya E.V., Davidov V.F., Bogdanov V.V. On the possible influence of radon and aerosol injection on the atmosphere and ionosphere before earthquakes // Nat. Haz. Earth Syst. Sci. 2005. V. 5. P.783–789.
23. Molchanov O. A., Hayakawa M. Subionospheric VLF signal perturbations possibly related to earthquakes // J. Geophys. Res. — 1998. — 103(A8). — P. 17489—17504.
24. Pulinet S. A., Leyva Contreras A., Bisiacchi-Giraldi G., Ciraolo L. Total electron contents variations in ionosphere before the Colima, Mexico, earthquake of 21 January 2003 // Geofis. Int. — 2005. — 44, № 4. — P.369—377. — <http://www.openj-gate.com/results.asp>.
25. Rozhnoi A., Solovieva M. S., Molchanov O. A., Hayakawa M., Maekawa S., Biagi P. F. Anomalies of LF signal during seismic activity in November–December 2004 // Natural Hazards Earth System Sci. — 2005. — 5. — P.657—660.

26. Slivinsky A.P., Terekhov A.S., Liperovsky V.A. Geophysical Radar for the Observation of Ionized Clouds in the Atmosphere Above the Earthquake Preparation Region // *Seismic Instruments* – 2009. – 45, pp. 21-26
27. Soloviev S.P., Sweeney J.J. Generation of electric and magnetic field during detonation of high explosive charges in boreholes // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110, B01312, doi:10.1029/2004JB003223.
28. Toshi Asada, Hisatoshi Baba, Mamoru Kawazoe, Masahisa Sugiura. An attempt to delineate very low frequency electromagnetic signals associated with earthquakes // *Earth Planets Space*. — 2001. — 53. P.55—62.
29. Zakharenkova I. E, Krankowski A., Shagimuratov I. I. Modification of the low-latitude ionosphere before the 26 December 2004 Indonesian earthquake // *Natural Hazards Earth System Sci.* — 2006. — 6. — P.817—823. — <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/817/2006/>.