

На правах рукописи

Данченко Виктор Вячеславович

**ГРАВИИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ
В ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

*Специальность 25.00.10 – геофизика,
геофизические методы поисков полезных ископаемых*

Автореферат диссертации
на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2011

Работа выполнена в Российском Государственном Геологоразведочном Университете им. Серго Орджоникидзе.

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор
Никитин Алексей Алексеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Серкеров Серкер Акберович

доктор физ.-мат. наук, профессор
Булычёв Андрей Александрович

Ведущая организация: **ГНЦ РФ ВНИИгеосистем**

Защита диссертации состоится «19» мая 2011 г. в 15:00 часов на заседании Диссертационного совета Д212.121.07 в Российском Государственном Геологоразведочном Университете им. Серго Орджоникидзе по адресу:

117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23, РГГРУ, ауд. 6-38.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан
и размещён на сайте РГГРУ
www.msgpa.edu.ru

«15» апреля 2011 г.

Учёный секретарь
Диссертационного совета
д. ф.-м. н., профессор



Каринский А. Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Прогноз землетрясений в настоящее время является одной из актуальнейших проблем наук о Земле, в значительной степени одной из главных задач физики Земли. Землетрясения – весьма быстрые упругие колебания мантии и литосферы и вызванные ими сотрясения земной поверхности, происходящие при взрывообразном высвобождении механической энергии в очагах на глубинах от 3 до 750 км. Очаг землетрясения – это некоторый объём пород, в котором происходит их динамический разрыв под воздействием напряжений, накопившихся в процессе тектонических деформаций [Апродов В. А., 2010]. Под прогнозом понимается предсказание места и времени возникновения будущих землетрясений с указанием их возможной силы и характера проявления на поверхности Земли. Попытки постановки задачи предсказания момента сильных землетрясений эпизодически предпринимались во многих странах, в особенности в связи с разрушительными землетрясениями. Первенство в составлении систематической научной программы поисков предвестников землетрясений принадлежит СССР. Программа была составлена после разрушительного землетрясения 1948 г. в Ашхабаде [Рикитаке Т., 1979]. К настоящему времени возможность предсказания времени возникновения сильных землетрясений значительно усилилась благодаря обнаружению большого числа явлений-предвестников приближающихся землетрясений, когда вероятность предсказания может быть подтверждена многочисленными инструментальными наблюдениями. Тем не менее, в сообществе исследователей в области прогноза землетрясений сформировался скептический взгляд на наличие физически обоснованных, надёжно инструментально регистрируемых, далекодействующих краткосрочных предвестников катастрофических землетрясений, на основе которых возможно осуществление прогноза времени, места и силы будущих событий.

Под краткосрочными предвестниками понимаются геофизические явления-предвестники, регистрируемые инструментально за 7-14 дней до прогнозируемого землетрясения [Воевода О. Д., Савенко О. Ю., 2009].

В 2002 году, в ходе исследовательских мониторинговых сессий на полигоне «Нефтекип», связанных с испытаниями первого отечественного компьютеризированного гравиметра «ГНУ-КВК», разработанного во «ВНИИГеофизике», И. Н. Михайловым в записях прибора были обнаружены гравиинерциальные эффекты, либо вовсе не фиксировавшиеся ранее, либо оставленные исследователями без должного внимания [Гладюк С. И., Извольский А. В., Михайлов И. Н., Рябиков Ю. К., Попов В. Ф., 2003; Михайлов И. Н., Годин Ю. Ю., Ципенюк Д. Ю., 2004; Михайлов И. Н., 2005; Михайлов И. Н., 2006].

Под гравиинерциальными эффектами понимаются воздействия, оказываемые силами инерции на гравиметры. Оценить эти воздействия возможно на основе вычисляемой компьютеризированными гравиметрами дисперсии, точнее стандартного отклонения отсчётов силы тяжести ($SD \Delta g$). В контексте проводимых

исследований термин "гравиинерциальные эффекты" является следствием невозможности однозначного разделения гравитационной и инерциальной составляющих сил, воздействующих на гравиметр при гравиметрической съёмке [Веселов К. Е. Сагитов М. У., 1968; Миронов В. С., 1980; Веселов К. Е., 1988]. По этой причине геодинамические процессы (землетрясения), зачастую отображаются не только в значениях дисперсий отсчётов силы тяжести ($SD \Delta g$), но и непосредственно в значениях Δg . Под гравиинерциальным полем далее понимается совокупность значений дисперсии отсчётов силы тяжести, полученная в точке проведения гравимониторинговых измерений.

Изучение гравиинерциальных эффектов представляет актуальную задачу в области исследований краткосрочных предвестников землетрясений.

В конце 2008 года, в Москве, на основе материально-технической базы Научно-производственного центра «Геонефтегаз», в факультативном порядке были возобновлены мониторинговые измерения гравиметром «Scintrex CG-3M» с параллельной сверкой результатов с данными группы гравиметров «Scintrex CG-5», принадлежащими компании «Геокен», производящими измерения в Алма-Ате, и данными гравиметра «Scintrex CG-5», установленного в Петропавловске-Камчатском и находящегося в ведении ГАИШ МГУ [Данченко В. В., 2010; Михайлов И. Н., Сорокин А. В., Коврижных П. Н., Копаев А. В., Микушка Ян, 2010].

Цель и задачи работы

Задачи, решаемые в данной диссертационной работе, относятся к наиболее общей проблеме физики Земли – проблеме прогноза катастрофических событий (землетрясений) на основе краткосрочных предвестников землетрясений, имеющих геологическую природу, проявляющихся в геофизических полях и регистрируемых широко используемой, стандартизированной геофизической аппаратурой – компьютеризированными гравиметрами «Scintrex» различных модификаций.

Целью исследований, проводимых в рамках данной диссертационной работы, является установление краткосрочных предвестников катастрофических событий, регистрируемых в гравиинерциальном поле и изучение их характеристик.

В соответствии с поставленной целью автором решается ряд конкретных задач, основными из которых являются:

1. Мониторинг геодинамических процессов (землетрясений и их предвестников) с помощью компьютеризированных гравиметров «Scintrex», производящих записи в различных точках планеты.

2. Установление возможности проведения гравимониторинговых измерений с целью регистрации землетрясений и их предвестников в условиях урбанистических агломераций.

3. Оценка влияния сторонних, обычно не учитываемых, факторов (влияния изменений параметров питающей электросети, вспышечной активности Солнца, метеорологических условий) и установление корреляционных связей гравимониторинговых записей с этими факторами.

4. Выявление различий между записями, произведёнными прибором «ГНУ-КВК» в 2002 году и произведёнными «Scintrex CG-3M» и «Scintrex CG-5» в 2008-2011 гг.

5. Анализ гравиинерциальных эффектов на предмет их соответствия требованиям, предъявляемым к краткосрочным предвестникам катастрофических событий в рамках существующей научной парадигмы в области прогноза землетрясений.

6. Построение графа формализованной процедуры выделения аномалий прогностического признака как при ретроспективной, так и при прогностической оценке предвестника в одной или нескольких точках мониторинга.

Научная новизна работы предлагаемой работы заключается в:

1. Обнаружении новых эффектов и изучении геодинамических процессов (землетрясений) с использованием компьютеризированных гравиметров.

2. Установлении связи обнаруженных гравиинерциальных эффектов с предвестниками землетрясений.

3. Создании графа обработки гравимониторинговых записей с целью выделения землетрясений и их предвестников.

4. Обосновании предложений по краткосрочному прогнозу катастрофических событий, которые могут являться методической основой для дальнейшего развития инструментальных методов исследований в области прогноза землетрясений на основе краткосрочных геофизических предвестников.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается использованием калиброванной аппаратуры, статистическим анализом, достаточным объёмом экспериментальных исследований, объёмом накопленных сведений и повторяемостью результатов.

Практическая значимость работы заключается в дополнении системы знаний в области современных исследований геодинамических процессов и прогноза землетрясений геофизическими методами мониторинга геологической среды. В частности, в привлечении к выработке краткосрочного прогноза землетрясений нового геофизического феномена-предвестника, надёжно регистрируемого инструментально практически вне зависимости от антропогенных и техногенных факторов в точках мониторинга – гравиинерциальных эффектов. Это может повысить надёжность прогнозов и дополнить имеющиеся геоданные новой информацией о геодинамических процессах планеты. Кроме того, практическую ценность представляет выработанный в процессе исследовательской работы граф формализованной процедуры выделения аномалий прогностического признака при ретроспективной и прогностической оценке предвестника в одной или нескольких точках мониторинга.

Публикации и личный вклад соискателя

Автор принимал непосредственное участие во всех экспериментальных работах. Участвовал в исследованиях на всех этапах обработки и анализа получаемых гравимониторинговых данных.

По результатам выполненных исследований автором опубликованы 2 печатные работы в рекомендованных ВАК РФ журналах.

Апробация работы

Апробация работы осуществлялась в Научно-производственном центре «Геонефтегаз» в 2008-2011 гг., в процессе проводимых исследований.

Основные положения и результаты исследований опубликованы в научных изданиях, обсуждались и докладывались автором на IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», Москва 2009; Международном семинаре им. Д. Г. Успенского «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей», Москва 2010; Международной конференции «Геомодель-2010», Геленджик 2010; X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», Москва 2011.

Защищаемые положения:

1. Для компьютеризированных гравиметров «Scintrex» установлена регистрация в гравиинерциальном поле геодинамических процессов (землетрясений), с точностью, сопоставимой, в зависимости от характеристик геологической среды и параметров работы гравиметров, со специализированными сейсмостанциями.

2. Показана и обоснована возможность проведения гравимониторинговых измерений с целью регистрации землетрясений и их предвестников в условиях повышенной техногенной и антропогенной зашумлённости урбанистических агломераций.

3. На основе дисперсионного и статистического анализа, а также соответствия требованиям, предъявляемым к "феноменам-кандидатам" доказано, что регистрируемые гравиинерциальные эффекты, заключающиеся в изменениях значений дисперсии отсчётов силы тяжести ($SD \Delta g$), предвещают высокомагнитудные землетрясения ($M > 6$) за 7-14 дней и обоснованно могут считаться их краткосрочными предвестниками.

Объём и структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения. Содержит « 107 » страниц машинописного текста, « 12 » рисунков, « 3 » таблицы. Список литературы включает « 71 » наименование.

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.ф.-м.н., профессору Никитину А. А. за неизменное внимание, ценные замечания, консультации и руководство подготовкой диссертации.

Автор выражает благодарность руководству и коллективу Научно-производственного центра «Геонефтегаз». Особо автор хочет отметить консультации, неоценимую помощь и большое влияние на научные взгляды автора начальника департамента гравиразведки Научно-производственного центра «Геонефтегаз» к.т.н. Михайлова И. Н., чьи экспериментальные разработки и идеи стали основой диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** приведено изложение актуальности диссертационной работы, её научной новизны и практической значимости; изложены цели и задачи работы, достоверность и обоснованность научных положений. Описана структура диссертационной работы, а также представлены защищаемые положения.

Глава I посвящена описанию истории развития представлений о землетрясениях, их предвестниках и возможных способах предсказания, в динамике – от легенд к науке. Исследователи, конечно, не верят во все эти легенды, но для ученых важно взглянуть без предубеждения и на то, что может содержать хотя бы долю истины. За основу были взяты японские легенды и летописные свидетельства с описанием необычных явлений природы, предшествующих последующим землетрясениям. Поскольку японскую литературу нельзя назвать легко доступной для изучения (и это особенно относится к классическим произведениям, которые трудно читать даже современным японским читателям), наиболее авторитетным литературным источником на русском языке с описанием японских легенд о землетрясениях, может считаться книга Т. Рикитакэ «Предсказание землетрясений» (1979 г.); надёжным литературным источником, вобравшим в себя множество летописных свидетельств VIII-XX вв. о землетрясениях и предвещающих их аномальных природных явлениях, книга Е. П. Борисенкова и В. М. Пасецкого «Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы» (1988 г.).

Явления и события, предшествующие землетрясениям, описываемые в многочисленных легендах и летописях можно разделить на следующие группы:

1. Биоэффекты. Необычное поведение биологических объектов: рыб (особенно зубаток в японских легендах); животных (собак, кошек, лошадей, крыс); пресмыкающихся (змей); земноводных (лягушек); насекомых (многоножек, стрекоз); птиц (особенно голубей, ласточек и фазанов). Возможно, это связано с чувствительностью биологических объектов к инфразвуку.

2. Необычные погодные явления: дымка или туман (наблюдались автором лично); радуга и таинственный свет.

3. Явления, связанные с подземными водами: повышение и понижение уровня грунтовых вод; появление взвесей и изменение органолептических свойств воды в водных источниках (солёность воды в колодцах). Изменения грунтовых вод могут быть связаны с приближением землетрясений, и этому имеется научное объяснение. Причины: текучесть горных пород, изменения гипсометрических уровней и пористости.

4. Явления, связанные с магнетизмом: изменение магнитных свойств постоянных магнитов (потеря способности притягивать).

5. Влияние положения космических тел. Сообщалось, что как правило, гораздо больше землетрясений происходит в новолуние и полнолуние, чем во время молодой Луны.

6. Сверхъестественная чувствительность. Множество свидетельств повествует о людях с психическими заболеваниями, предвидящими наступление землетрясений благодаря своему сверхъестественному природному чутью.

7. Городские легенды (urban legend): короткие, на первый взгляд, правдоподобные, хотя обычно не соответствующие действительности истории, опирающиеся на современную техническую и общественную реальность, обычно затрагивающие глубинные проблемы и страхи общества. Правдоподобность городской легенды основана на необходимости специальных знаний для её разбора и проверки. Обычно пересказывается как история, случившаяся с каким-либо лицом, слабо связанным с рассказчиком.

Ввиду того, что автор весьма длительное время проживал в сейсмоактивном районе, расположенном в Западном Туркменистане и лично сталкивался с проявлениями геодинамических процессов, происходящих в недрах и сопутствующими им явлениями на поверхности, автор счёл необходимым изложить в рамках данной главы свои личные многолетние наблюдения, и в том числе, проведённые до-, во время, и после высокомагнитудного Балканабатского землетрясения 2000 г.

6 декабря 2000 г. в 17:11:05.8 GMT в Западном Туркменистане (39.65 с.ш., 54.71 в.д.) произошло сильное ощутимое землетрясение с магнитудой 7.4 (глубина = 33 км; m_s : 7.4, m_b : 6.4). Оно было вызвано активными тектоническими движениями на границе двух крупнейших структур земной коры – Туранской плиты и Копетдагско-Кавказской складчатой подвижной области. Землетрясение ощущалось во многих городах Туркменистана, Азербайджана, Средней Азии, а также на территории России в Дагестане, городах Ставрополя, в Саратове, Астрахани. Отголоски его докатились до Москвы и Санкт-Петербурга. Землетрясение сопровождалось афтершоками с магнитудами 3.9-4.1. В Балканабате, где в то время проживал автор, интенсивность сотрясений достигла VII баллов по двенадцатибалльной шкале MSK-64.

Землетрясение 6 декабря 2000 г. в связи с исследованиями предвестников землетрясений примечательно тем, что животные, вопреки широко распространённому мнению об их сверхчувствительности, не продемонстрировали способность предчувствовать катастрофические события. После непосредственного землетрясения автором и многими находившимися на улицах жителями наблюдалась странная светящаяся розовая дымка над горами, которые видны из любой части города. Возможными источниками наблюдавшегося явления могли быть обвалы и осыпи в горах, поднявшие в воздух мелкодисперсную взвесь пылевых частиц, которая при полном отсутствии освещения в городе могла быть особым образом "подсвечена" растущей луной. Данное объяснение можно было бы считать исчерпывающим, если бы не свидетельства бригады буровиков, возвращавшихся с вахты за несколько часов до землетрясения, имевших возможность наблюдать горы с несколько иного ракурса, в отсутствие мощных источников искусственного освещения. Буровиками, среди которых был дядя автора, мастер бурения Власов Д. В., при подъезде к городу эта же "светящаяся дымка" в горах наблюдалась за несколько часов до события. В свете этих фактов говорить об осыпях и мелкодисперсной пылевой взвеси как источнике "свечения" не приходится, т.к. до главного толчка существенных осыпей быть не могло ввиду отсутствия форшоковой активности. Но то, что наблюдавшееся явление предвосхищало катастрофическое землетрясение – неоспоримый факт.

Изложенное выше наблюдение наглядно описывает положение абсолютного большинства предвестников: явления-предвестники становятся таковыми постфактум, на основе многочисленных свидетельств, когда катастрофическое событие уже произошло. Аналогичным образом в Балканабате, никто, наблюдая дымку над горами, не предполагал, что наблюдает предвестник землетрясения – сопоставления производились гораздо позднее.

Выводы главы I.

1. Отклонения в поведении биологических объектов в настоящее время не являются надёжными прогностическими признаками. Балканабатское землетрясение (6.12.2000 г.) в этом смысле весьма показательно, т.к. животные заблаговременно не проявляли никакого беспокойства. Хотя, для создания элементарной статистической базы и исследований влияния инфразвука на биологические объекты, накопление подобных фактических сведений имеет смысл продолжать.

2. Достаточно правдоподобные свидетельства, основанные на сегодняшней технической реальности, из числа городских легенд должны и впредь занимать отведённую им нишу. При постановке задачи прогноза землетрясений их следует принимать с большой осторожностью.

3. Необычные погодные явления в преддверии землетрясений действительно могут наблюдаться. Наблюдавшееся появление странной дымки перед Балканабатским землетрясением (6.12.2000 г.) описано автором в диссертационной работе. Но подобные явления крайне трудно отнести к надёжным предвестникам, т.к.

они могут происходить сами по себе, без последующего землетрясения. Другими словами, наблюдая облака нельзя предсказать землетрясение.

4. Влияние космических тел на сейсмичность, обусловленное изменением напряженно-деформированного состояния горных пород планеты может иметь место. Также изменением напряженно-деформированного состояния горных пород можно объяснить изменения уровня грунтовых вод и дебета скважин.

5. Предвестник, на основе которого возможно осуществление прогноза землетрясений, в рамках существующей научной парадигмы, должен соответствовать требованиям, предъявляемым к "феномену-кандидату", перечисленным в главе IV диссертации.

Глава II отведена для обзора методов исследований в области прогноза землетрясений, проводящихся в настоящее время и проводившихся в прошлом в рамках различных исследовательских программ, и их краткого анализа.

Все проводимые в настоящее время и проводившиеся в прошлом исследования в области прогноза землетрясений можно разделить три обширные группы:

1. Лабораторные исследования деформаций на модельных объектах [Соболев Г. А., Пономарёв А. В., 2003 и др.]. Лабораторные исследования физических свойств образцов и геологических моделей являются в настоящее время базой для формирования представлений об очагах землетрясений. При этих исследованиях определяются упругие свойства и их изменения, пористость, проницаемость, поляризуемость, изменения намагниченности, электромагнитная и акустическая эмиссии и др. Но в лабораторных условиях невозможно воссоздать все условия природной среды.

2. Исследования геодинамических процессов на основе статистическо-вероятностного подхода и вычислительной сейсмологии [Кейлис-Борок В. И., Губерман Ш. А. и др.]. В рамках этих исследований сейсмический процесс рассматривается с позиций нелинейной динамики иерархической системы блоков и разломов. По своей сути эти исследования представляют собой игру в "Сейсмическую рулетку" (Seismic Roulette) [Кособоков В.Г., Ромашкова Л. Л., Некрасова А. К., 2009], где игровым полем является кластерная система блоков, разломов и доменов, каждому событию каталога соответствует один сектор сейсмической рулетки, а прогнозу – расклад равнозначных фишек по секторам игрового поля. Наиболее успешными реализациями данного подхода считаются алгоритмы M8 и MSc. Алгоритм M8 для диагностики использует достаточно традиционное представление динамической системы, дополняя стандартное фазовое пространство скоростей (N) и ускорений (L) сейсмического потока величинами его безразмерной концентрации (Z) и группированности (B). Алгоритм распознаёт критерий, определённый экстремальными значениями координат фазового пространства как окрестность сингулярности системы. Попадание траектории системы в критерий свидетельствует о повышении вероятности катастрофы до уровня её эффективного предсказания. Согласно теории существует конечное время

запаздывания между максимумом активизации (энтропии) и катастрофой, поэтому траектория может покинуть критерий за некоторое время до катастрофы. В алгоритме M8 это время ограничено пятью годами. Алгоритм MSc выделяет ту часть области тревоги, которая с начала обратного каскада сейсмичности к катастрофе, определённого с помощью алгоритма M8, демонстрирует стабильно высокую активность, изредка прерывающуюся короткими затишьями, т.е. признак чередования, характерный для динамических систем на последнем этапе потери устойчивости. Таким образом алгоритм M8 диагностирует потерю устойчивости на её ранней стадии, а алгоритм MSc определяет стадию хаотизации, когда образуется странный аттрактор.

Несмотря на большие успехи, демонстрируемые первыми двумя группами исследований, они обладают одним общим недостатком. Методы обеих групп объединяет то, что они являются косвенными.

3. Прямые исследования процессов, предвещающих землетрясения в геосреде. К настоящему времени возможность предсказания времени возникновения сильных землетрясений значительно усилилась благодаря обнаружению большого числа явлений-предвестников приближающихся землетрясений, когда вероятность предсказания может быть подтверждена многочисленными инструментальными наблюдениями. Но в сообществе исследователей в области прогноза землетрясений сформировался скептический взгляд на наличие физически обоснованных, надёжно инструментально регистрируемых, далекодействующих краткосрочных предвестников катастрофических землетрясений, на основе которых возможно осуществление прогноза времени, места и силы будущих событий. Само сообщество исследователей разделилось на два лагеря: на "пессимистов", указывающих на хаотичность сейсмического процесса в сложно построенной земной коре, высокую вероятность динамического развития любой трещины до разрыва большого землетрясения, трудно учитываемое триггерное влияние сторонних возмущений, которые могут привести, или не привести, к макронеустойчивости района, находящегося в метастабильном состоянии [Geller, R., 1997; Main, Ian, 1997 и др.]; и "оптимистов", чей оптимизм отстоит от умозрительных теоретических построений и основываются на ряде экспериментально установленных фактов возникновения предвестников в очаге будущего землетрясения, а также возможности вероятностного прогноза катастрофы в условиях детерминированного хаоса [Хаин В. Е., Халилов Э. Н., 2008; Khalilov, E. N., 2008 и др.]. В лагере "оптимистов", в свою очередь, также наблюдается разделение, которое удачно охарактеризовал д. ф.-м. н. П. Н. Шебалин (МИТП РАН): "К настоящему времени геофизическое сообщество разделилось на два лагеря. Часть ученых пытается выявлять "предвестники" очень локально ..., то есть надеется поймать признаки скорого наступления события на очень маленьком участке, а другие предпочитают "крупный масштаб" [Сайт «Удар Земли», Возможность прогнозирования].

Выводы главы II.

1. Изучение процессов деформации на модельных объектах – очень важная часть науки, много привнесшая в сейсмологию, в частности, и в понимание физики землетрясений, в целом. Но сведения, предоставляемые подобными исследованиями более эффективно могут применяться в инженерной геологии, т.к. считать реальную геологическую среду идентичной модельному блоку гранита можно лишь при очень больших допущениях, в отсутствие априорных сведений о среде.

2. Исследования геодинамических процессов на основе вероятностно-статистического подхода и вычислительной сейсмологии действительно демонстрируют успехи, но только при долгосрочных и среднесрочных прогнозах землетрясений. Для краткосрочных прогнозов они не могут быть применимы в полной мере, вследствие своей косвенной природы.

3. Для краткосрочного прогноза землетрясений более широко должен использоваться прямой инструментальный мониторинг геосреды. Но общей проблемой всех прямых исследований предвестников, число которых перевалило за сотню, на сегодняшний день является несоответствие одному или нескольким требованиям, предъявляемым к предвестникам, и, в большей степени, невозможность установления ареала действия предвестника и магнитуды готовящегося события.

В главе III диссертационной работы описана материально-техническая база проводимых исследований.

Ввиду того, что в исследованиях используются стандартные аппаратно-программные платформы и стандартизированные, калиброванные и поверенные компьютеризированные гравиметры «Scintrex», характеристики записи которых представлены на странице 15, в рамках автореферата ограничимся лишь базовым описанием аппаратурной и программной составляющей исследований.

Материально-техническая база исследований состоит из:

1. Компьютеризированных гравиметров «Scintrex» моделей «Scintrex CG-3M» и «Scintrex CG-5» в полной комплектации.

2. Персональных компьютеров платформы IBM PC, работающих под управлением ОС Microsoft Windows.

3. Программных продуктов различных разработчиков: программы «IDump» для сброса дампа памяти гравиметров; табличных процессоров «Microsoft Excel 2007» и «Golden Software Grapher 7»; программного комплекса спектрально-корреляционного анализа данных «COSCAD 3D».

Для определения параметров электросети, питающей гравиметр «Scintrex CG-3M», установленный в офисе ЗАО «НПЦ „Геонефтегаз“» использовались бытовой Источник Бесперебойного Питания (ИБП) «IPPON Back Power Pro 800» и поставляемая с ним мониторинговая программа «Winpower Manager», позволяющая измерять с различной дискретностью параметры тока в сети.

Выводы главы III.

1. Любой субъект, физическое или юридическое лицо, при наличии описанной выше материально-технической базы, может провести весь спектр изложенных в

рамках диссертации исследований с получением аналогичных результатов. Следовательно, любой подобный субъект, без существенных финансовых затрат, может организовать точку гравимониторинга, которая могла бы стать частью прогностического полигона, входящего в глобальную геоинформационную систему по краткосрочным предвестникам землетрясений и послужить основой для дальнейших детальных исследований гравиинерциальных эффектов.

2. Использование калиброванной, поверенной аппаратуры, объём накопленных сведений и повторяемость результатов подтверждают достоверность и обоснованность научных положений, рекомендаций и выводов диссертационной работы.

В главе IV описываются непосредственные исследования дополнительных эффектов гравитационного поля – гравиинерциальных эффектов в 2002-2011 гг. Производится анализ возможных корреляционных зависимостей наблюдаемых эффектов от различных, обычно не учитываемых, факторов: вспышечной активности Солнца; штормов на удалении и вблизи точек гравимониторинга; изменений характеристик питающей электросети; техногенной и антропогенной зашумлённости в точках мониторинга. Производится сопоставление гравимониторинговых записей на предмет их отличий при регистрации геодинамических процессов (землетрясений) при различных удалениях точек мониторинга от очагов землетрясений. Осуществляется сопоставление записей гравиинерциальных эффектов, как предвестников, в периоды перекрытия нескольких гравимониторинговых записей во времени. Гравиинерциальные эффекты подвергаются анализу на предмет их соответствия требованиям, предъявляемым к явлениям-предвестникам.

В 2002 году, в ходе исследовательских мониторинговых сессий на полигоне «Нефтекип», связанных с испытаниями первого отечественного компьютеризированного гравиметра «ГНУ-КВК», разработанного во «ВНИИГеофизике», И. Н. Михайловым в записях прибора были обнаружены гравиинерциальные эффекты, либо вовсе не фиксировавшиеся ранее, либо оставленные исследователями без должного внимания [Гладюк С. И., Извольский А. В., Михайлов И. Н., Рябиков Ю. К., Попов В. Ф., 2003; Михайлов И. Н., Годин Ю. Ю., Ципенюк Д. Ю., 2004; Михайлов И. Н., 2005; Михайлов И. Н., 2006].

Суть вышеупомянутых гравиинерциальных эффектов сводится к двум базовым тезисам:

1. Компьютеризированный гравиметр «ГНУ-КВК», действующий по принципу сейсмометра Голицына, работающий в режиме мониторинга, успешно выполняет функцию сейсмографа, в зависимости от дискретности измерений чётко фиксирующего в гравиинерциальном поле события сейсмогеологического характера.

2. В гравиинерциальном поле чётко проявляются предвестники катастрофических событий, выражающиеся в повышении различного характера значений этого поля (для землетрясений с магнитудой >6.0 в любой точке планеты).

Каждый из обнаруженных эффектов обладает рядом неотъемлемых характеристик:

1. В случае предвестника длительность нарастания дисперсии по отношению к фону с последующим убыванием преимущественно составляет 1-2 суток.

2. В последующее после этапа нарастания/убывания дисперсий время, вплоть до катастрофических событий, дисперсия не превышает своих фоновых значений, при условии, что не готовится следующее катастрофическое событие или не происходит событие по предыдущему предвестнику.

3. Само событие вызывает изменение дисперсии поля на 1-2 порядка (для «ГНУ-КВК») по отношению к фоновому, по длительности регистрации занимает от нескольких минут до 1-3 часов, и резко отличается от регистрации предвестников катастрофических событий.

4. По мониторинговым наблюдениям с одним гравиметром невозможно определить место будущего катастрофического события, т.к. на записях отображаются события, происходящие, или готовящиеся, в любой точке Земли (с магнитудами >6.0).

По ряду обстоятельств, исследования и мониторинговые сессии на некоторое время были приостановлены.

В конце 2008 года, в Москве, на основе материально-технической базы ЗАО «НПЦ „Геонефтегаз“», в факультативном порядке были возобновлены мониторинговые измерения гравиметром «Scintrex CG-3M» с параллельной сверкой результатов с данными группы гравиметров «Scintrex CG-5», принадлежащими компании «Геокен», производящими измерения в Алма-Ате, и данными гравиметра «Scintrex CG-5», установленного в Петропавловске-Камчатском и находящегося в ведении ГАИШ МГУ [Данченко В. В., 2010; Михайлов И. Н., Сорокин А. В., Коврижных П. Н., Копаев А. В., Микушка Ян, 2010].

Основная цель этих измерений – установление краткосрочных предвестников катастрофических землетрясений и их характеристик. Согласно имеющимся представлениям, предвестник, на основе которого прогноз осуществляется на срок 7-14 дней, относится к краткосрочным.

При возобновлении мониторинговых сессий были выявлены существенные различия между записями, произведёнными прибором «ГНУ-КВК» в 2002 году и произведёнными «Scintrex CG-3M» и «Scintrex CG-5» в 2008-20011 гг. Различия эти заключаются в разной чувствительности гравиметров – уровне фоновых значений дисперсий, соотношениях „событие/фон“ и „предвестник/фон“. Для большей наглядности характеристики мониторинговых записей различными приборами приведены в сравнительной таблице 1. Таким образом, на основе имеющихся данных, вполне закономерным является вывод, что отечественный гравиметр «ГНУ-КВК» обладал лучшими во всех аспектах характеристиками записи по сравнению с различными моделями гравиметров «Scintrex» и являлся более предпочтительным для использования в мониторинговых измерениях с целью прогноза катастрофических событий.

Прибор SD, мГал	ГНУ-КВК, Москва	Scintrex CG-3M, Москва	Scintrex CG-5, Алма-Ата	Scintrex CG-5, Петропавловск- Камчатский
Фон	0,005	0,015-0,02	0,008-0,01	0,004-0,006
Предвестник	0,03-0,04	0,04-0,06	0,04-0,06	0,03-0,06
Событие	2,5-4	3-4	3-4	2-4

Таблица 1 – Характеристики гравимониторинговых записей, полученных различными моделями гравиметров в разных точках мониторинга

Согласно существующей научной парадигме в области прогноза катастрофических событий и критериям точности/надёжности прогноза, геофизический ”феномен-кандидат” для включения его в комплекс прогностических предвестников должен удовлетворять следующему ряду требований [Завьялов А. Д., 2007]:

1. Прогнозируемость энергии грядущего катастрофического события.
2. Локализация места (гипоцентр, эпицентр) грядущего события.
3. Прогнозируемость временного интервала до грядущего события.
4. Ясный физический смысл прогностического признака.
5. Физическая обоснованность связи прогностического признака с процессом подготовки землетрясения.
6. Наличие формализованной процедуры выделения аномалий прогностического признака, основанной на модели поведения признака в период подготовки землетрясения.
7. Обеспеченность прогностического признака данными наблюдений во времени (ряды) и пространстве (картирование).
8. Возможность получения ретроспективных оценок и характеристик предвестника: вероятностей успешного прогноза, ложных тревог, прогностической эффективности (информативности).

Энергия, место и время прогнозируемого катастрофического события

На записях гравиметров «Scintrex», установленных в Москве, Алма-Ате и Петропавловске-Камчатском надёжно фиксируются и идентифицируются предвестники катастрофических событий с магнитудами больше 6.0, готовящиеся практически в любой точке планеты.

Ввиду различных параметров работы и характеристик гравиметров (см. Таблицу 1), географического положения мониторинговых точек, геологических/метеорологических условий в них, наличия повышенных дисперсий ”предвестникового” генезиса, варьируется чувствительность приборов к записи

событий с различными магнитудами и локализацией очагов, что отражено на рисунке 1 для трёх землетрясений в Синьцзяне.

Временной интервал от момента регистрации предвестника до непосредственного события, вычислен эмпирически на основе солидной статистической базы, и составляет 7-14 дней.

Землетрясение на Гаити, произошедшее 12 января 2010 года в 21:53 GMT, получившее широкий резонанс в научном сообществе и СМИ, и его предвестник, зафиксированные гравиметрами в Москве и Петропавловске-Камчатском, представлены соответственно на рисунке 2. Заметим, что на записи гравиметра, установленного в Петропавловске-Камчатском, предвестник гаитянского землетрясения осложнён метеорологическими условиями (штормом) в точке мониторинга. Уточнение предвестника во временном интервале 3-4 января 2010 г. проводилось путём сопоставления с записями, произведёнными в Москве.

Из рисунка 2 видно, что в Москве этот предвестник представительно фиксируется без осложнений.

Таким образом подтверждается необходимость синхронных измерений несколькими гравиметрами в точках с различными геологическими/метеорологическими условиями с целью повышения надёжности регистрации событий и их предвестников, а также однозначности интерпретации полученных записей.

Физический смысл и связь прогностического признака с процессом подготовки землетрясения

В гравиинерциальном поле чётко регистрируются предвестники катастрофических событий, имеющие физическую природу, связанную с процессом подготовки очага грядущего события, и проявляющиеся в виде инерциальных ускорений.

Необходимо отметить, что гравиметр «Scintrex CG-3M», установленный в Москве, на неподвижном основании в офисном здании «НПЦ „Геонефтегаз“», находится в недостаточно идеальных для проведения гравимониторинга условиях. Тем не менее, на основе сравнения его записей с записями в других точках мониторинга показывается возможность регистрации в гравиинерциальном поле катастрофических событий и их предвестников. Прибор, установленный в условиях урбанистических агломераций, демонстрирует несущественность влияния антропогенного и техногенного факторов (движение транспорта) на результаты измерений.

Предвестник в поле дисперсий отсчётов Δg однозначно идентифицируется, т.к. в случае воздействий, связанных с неблагоприятными метеорологическими условиями (штормами) в точке проведения гравимониторинга, расположенной вблизи Охотского моря и Тихого океана, наблюдается специфическое нарастание дисперсии отсчётов Δg .

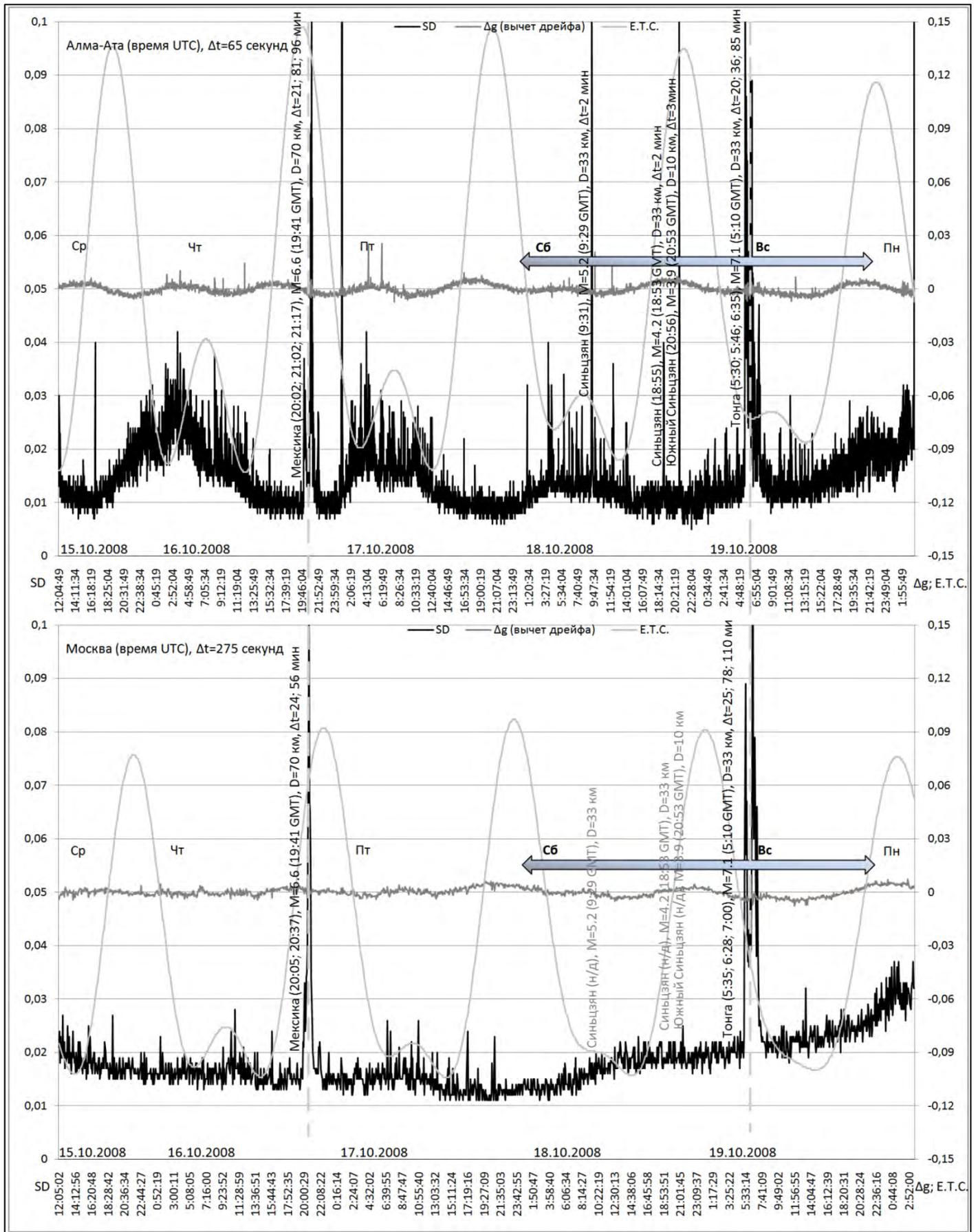


Рисунок 1 – Регистрация одинаковых событий в разных географических точках (в Москве и Алма-Ате)

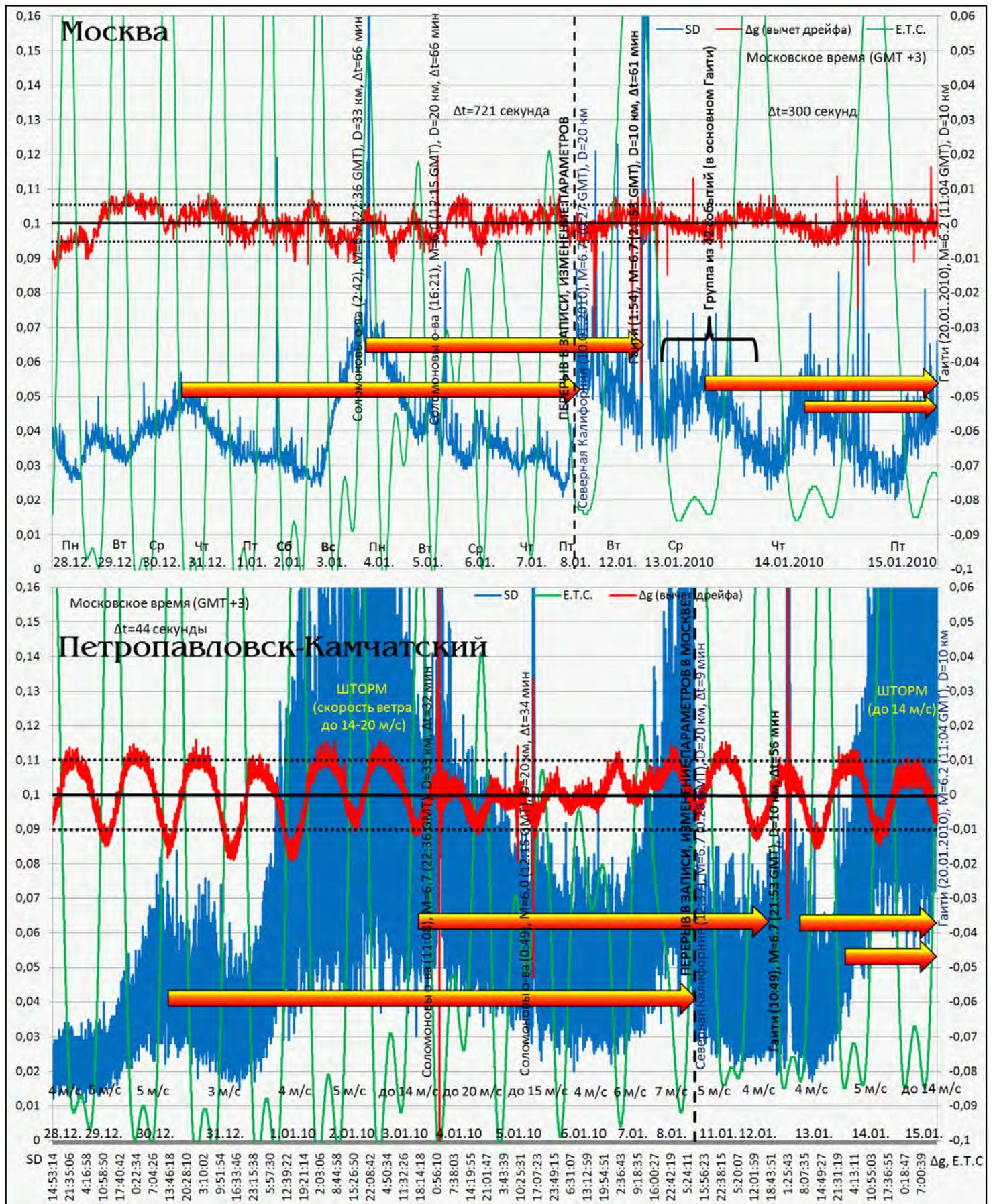


Рисунок 2 – Регистрация предвестника и события на Гаити гравиметрами, установленными в Москве и Петропавловске-Камчатском

На начальном этапе это нарастание сходно с "предвестниковым", т.е. в основном постепенное в течение первых суток, но отличается от последнего максимальной амплитудой в 3-5 раз и общей продолжительностью, составляющей зачастую 3-5 дней. Нарастание дисперсий штормового генезиса в Петропавловске-Камчатском также видно на рисунке 2.

С целью оценки значимости влияния предвестника по отношению к фоновым значениям поля дисперсии, используются методы дисперсионного анализа, в котором проводится сравнение по критерию Фишера двух дисперсий – факторной дисперсии, вызванной влиянием фактора, т.е. предвестника землетрясений, и остаточной дисперсии, обусловленной погрешностями наблюдений, т.е. фоновыми значениями поля дисперсий.

В нашем случае (рисунок 2) $\sigma_{\phi}^2 = 0,03$; $\sigma_{ост}^2 = 0,015$.

Получаем значение отношений дисперсий: $F = \frac{\sigma_{\phi}^2}{\sigma_{ост}^2} = \frac{0,03}{0,015} = 2$. (1)

Согласно критерию Фишера с уровнем значимости 5% при числе степеней свободы числителя и знаменателя в 100 измерений, $F_{крит} = 1,39$.

Поскольку $2 > 1,39$, т.е. больше критического значения, влияние фактора является существенным.

Ввиду того, что некоторыми исследователями выдвигались гипотезы, объясняющие наблюдаемые изменения в гравиинерциальном поле глобальным влиянием вспышечной активности Солнца, данные гравимониторинга сопоставлялись с данными "космической погоды" космической обсерватории «ТЕСИС». В результате изысканий корреляционная связь между активностью светила и гравиинерциальными эффектами, описанными выше, не установлена. Из этого следует, что в поле дисперсий отсчётов Δg находят отражение события сугубо "земного" генезиса. Графики вспышечной активности Солнца и гистограммы состояния магнитосферы в автореферате не иллюстрируются по причине их громоздкости.

Формализованная процедура выделения аномалий прогностического признака, основанная на модели поведения признака в период подготовки землетрясения

В исследовательской работе, при наличии описанной ранее модели поведения признака в период подготовки землетрясения, эмпирическим путём выработан следующий граф ретроспективной формализованной процедуры выделения аномалий прогностического признака:

1. В табличном процессоре (Excel, Grapher и др.) строятся графики: значений силы тяжести (Δg), дисперсий отсчётов силы тяжести ($SD \Delta g$), лунно-солнечных вариаций (Е.Т.С.).

2. Построенные графики оцениваются на наличие "брака": антропогенной/техногенной зашумлённости, возможных перебоев в записи вследствие возможных сбоев электропитания и т.д. При расположении точки мониторинга вблизи водных объектов также требуется однозначно исключить вклад в

регистрируемые эффекты метеорологических условий (штормов). Для Петропавловска-Камчатского метеоусловия в точке мониторинга уточняются на основе данных сайта «Расписание погоды». Вклад в запись вспышечной активности Солнца и состояния магнитосферы учитывать не требуется, по причинам описанным выше.

3. В случае отсутствия указанных выше дефектов, графики строятся в масштабах осей, наиболее полно отражающих характеристики записи и наиболее удобных для визуальной оценки событий. Масштабы осей выбираются на основе соотношений "событие/фон", "предвестник/фон" и "плотности" записи, обусловленной заданными параметрами гравиметра (Δt цикла взятия отсчётов).

4. На графике значений силы тяжести (Δg) снимаются линейная и нелинейная составляющие дрейфа нуля-пункта гравиметра. Формулы для снятия дрейфа доступны в программе «Grapher». Необходимость в построениях графиков значений силы тяжести обусловлена тем, что высокомагнитудные землетрясения зачастую отображаются не только в поле дисперсий, но и в значениях отсчётов Δg .

5. На построенных графиках выделяются зарегистрированные события и время их регистрации в точке мониторинга. Дальнейшие идентификация и уточнение их характеристик осуществляются на основе каталогов землетрясений с сайтов Геофизической службы РАН и Геологической службы США.

6. Для высокомагнитудных событий осуществляется ретроспективное соотнесение с нарастаниями дисперсий, зарегистрированными ранее (7-14 дней назад) и имеющими "предвестниковый" генезис, выявленный на основе характеристик, уже описанных выше.

7. В случае наличия на полученных графиках дисперсий отсчётов Δg , формы записи, идентифицируемой как предвестник, делается вывод о готовящемся высокомагнитудном событии (>6.0) или группе событий, которые должны произойти в перспективе, во временном интервале 7-14 дней с момента регистрации предвестника (без уточнения локализации эпицентра и гипоцентра по причине отсутствия прогностических полигонов).

***Получение ретроспективных оценок и характеристик предвестника,
обеспеченность прогностического признака данными
наблюдений во времени и пространстве***

При адекватном уровне кооперации и сотрудничества организаций, имеющих в своём распоряжении не задействованные в полевых работах компьютеризированные гравиметры, способные эксплуатироваться в режиме мониторинга, а также при наличии научной заинтересованности в результатах данных исследовательских работ у руководства этих организаций, обеспеченность прогностического признака наблюдениями во времени и пространстве становится задачей решённой. В свою очередь, при обеспеченности исследователей данными наблюдений во времени и пространстве, т.е. при создании базы данных, получение

любых ретроспективных оценок становится рядовым, рутинным моментом изысканий в области прогноза катастрофических событий.

Выводы главы IV.

1. Компьютеризированные гравиметры «Scintrex» обеспечивают возможность надёжной регистрации в гравиинерциальном поле геодинамических процессов (землетрясений), с точностью, сопоставимой со специализированными сейсмостанциями.

2. В условиях урбанистических агломераций возможно проведение гравимониторинговых измерений с целью регистрации землетрясений и их предвестников. Эта возможность напрямую связана с нечувствительностью компьютеризированных гравиметров к техногенным воздействиям, доминирующие частоты которых находятся в диапазоне 30-40 Гц (см. рисунок 3), и которые могут проявляться на частотах вплоть до 0,5 Гц [Hanssen, P., Bussat, S., 2008], в то время как волны предвестникового генезиса имеют энергетические максимумы в более низкочастотной области.

3. Краткосрочные далекодействующие предвестники катастрофических землетрясений – гравиинерциальные эффекты, соответствуют требованиям, предъявляемым к предвестникам в рамках современных научных представлений о геодинамических процессах, происходящих в недрах.

4. Для уточнения очага готовящегося события необходимо создание глобальных, региональных и локальных прогностических полигонов, оснащённых высокочувствительными компьютеризированными гравиметрами. Для оперативности выработки прогноза, снятие значений с гравиметров и выполнение вышеописанного графа обработки должны осуществляться во временном интервале до семи дней во всех точках ”прогностического полигона”.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам проведённых исследований далекодействующего краткосрочного предвестника катастрофических землетрясений – гравиинерциальных эффектов. В соответствии с поставленной целью решён ряд конкретных задач:

1. Произведён мониторинг геодинамических процессов (землетрясений и их предвестников), происходящих в недрах Земли с помощью компьютеризированных гравиметров «Scintrex», производящих записи в различных точках планеты.

2. Установлены различия между записями, произведёнными прибором «ГНУ-КВК» в 2002 году и произведёнными «Scintrex CG-3M» и «Scintrex CG-5» в 2008-2011 гг.

3. Оценено влияние на гравиметры сторонних, обычно не учитываемых, факторов и изучены корреляционные связи гравимониторинговых записей с ними.

4. Установлена возможность проведения гравимониторинговых измерений с целью регистрации землетрясений и их предвестников в недостаточно идеальных для проведения мониторинга условиях урбанистических агломераций.

5. Проведён анализ гравиинерциальных эффектов на предмет их соответствия требованиям, предъявляемым к краткосрочным предвестникам землетрясений в рамках существующей научной парадигмы.

6. Создан граф формализованной процедуры выделения аномалий прогностического признака как при ретроспективной, так и при прогностической оценке предвестника в одной или нескольких точках мониторинга.

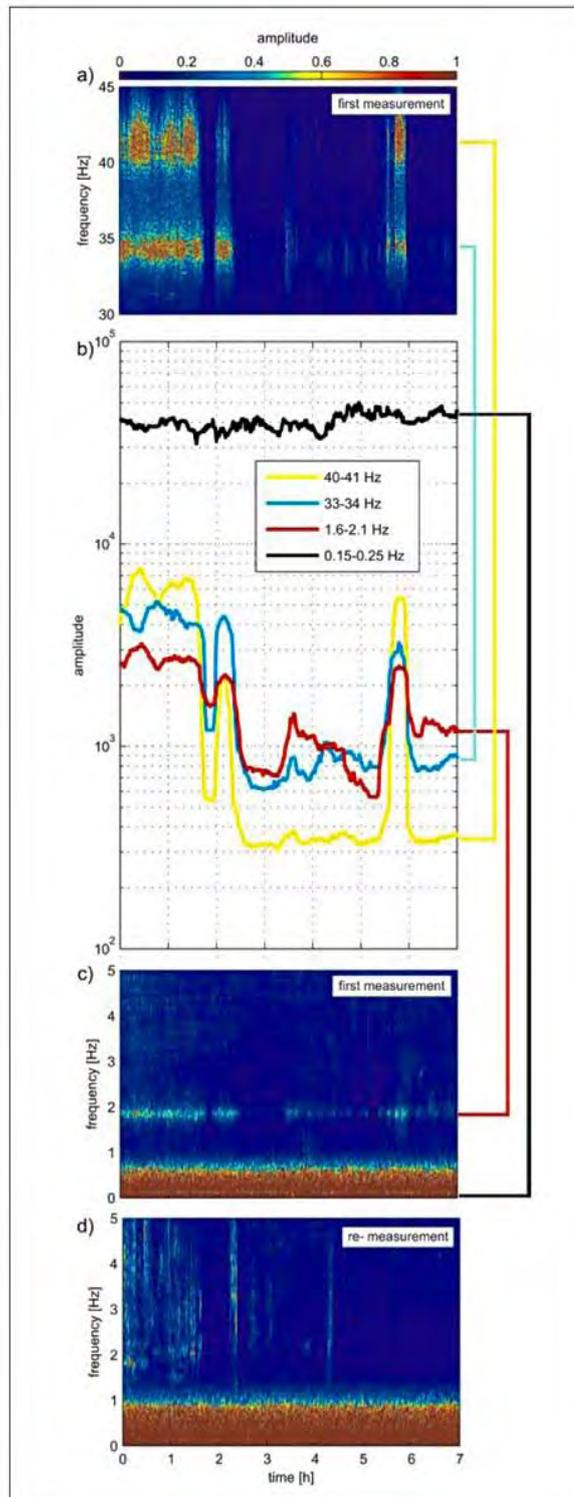


Рисунок 3 – Спектрограммы и корреляция волн техногенной и ДНІ природы для двух мониторинговых измерений на одной и той же позиции [Hanssen, P., Bussat, S., First Break, том 26, июнь 2008]

Основные положения диссертации отражены в работах:

Статьи в журналах рекомендованных ВАК:

1. Данченко В. В. Гравиинерциальные эффекты и их соответствие краткосрочным предвестникам катастрофических событий. Геофизика, 2010, №3, с. 56-61.
2. Данченко В. В. Пути к созданию глобальной геоинформационной системы по краткосрочным предвестникам землетрясений. Геоинформатика, 2010, №3, с. 22-27.

В сборниках и материалах конференций:

1. Данченко В. В. Краткий обзор источников постоянных низкочастотных микросейсм для обоснования эффектов технологии АНЧАР. Материалы IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», РГГРУ, 14-17 апреля 2009 г., Том 2, с. 68.
2. Данченко В. В. Гравиинерциальные эффекты. Эмпирический опыт в прогнозировании катастрофических событий. В сборнике «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей», Материалы 37-й сессии Международного семинара им. Д. Г. Успенского, Москва, 25-29 января 2010 г., с. 123.
3. Данченко В. В. Гравиинерциальные эффекты как предвестники землетрясений. Тезисы докладов конференции «Геомодель-2010». Геленджик, 2010.
4. Данченко В. В. Гравиинерциальные эффекты в проблеме прогноза землетрясений. Материалы X Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле», РГГРУ, 12-15 апреля 2011 г.