

## О Т З Ы В

**официального оппонента на диссертацию и автореферат Бесединой Алины Николаевны по теме «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений», подготовленной на соискание научной степени кандидата физико – математических наук по специальности – 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».**

Современные представления экспериментальной сейсмологии, основанные на многочисленных измерениях динамических характеристик сейсмических волн от мощных взрывов и землетрясений и изучении последствий этих динамических воздействий, показывают, что сейсмические длиннопериодные воздействия могут приводить к относительно более высокочастотной реакции геофизической среды, во многом определяемой ее блочным строением.

Наиболее заметно особенности длиннопериодных сейсмических воздействий проявляются в высокочастотной области в геофизической среде, имеющей неоднородности – скважины, трещины, разрывы в земной коре.

Одним из методов улучшения качества экспериментальных данных при проведении сейсмического мониторинга является использование широкополосной аппаратуры.

В этой связи представляется весьма важной и актуальной цель диссертационной работы Бесединой А.Н. – научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений на основе аналитических оценок, лабораторных и полевых экспериментов, анализа данных натурных измерений. Такой подход позволяет существенно расширить частотный диапазон регистрирующей аппаратуры и тем самым существенно уменьшить необходимое количество сейсмических датчиков различных типов при сохранении точности измерений.

Рассмотренные в первом разделе диссертации результаты многочисленных экспериментальных и теоретических работ, посвященных изучению сейсмических и микросейсмических колебаний в различном частотном диапазоне, позволило автору ранжировать сейсмические процессы в целях уточнения физических параметров оч-

га сейсмических событий. В результате автор выделила основные направления исследований, реализованные в ходе диссертационной работы.

Во втором разделе диссертации представлены основы методики реализации численной коррекции сейсмограмм, которую можно использовать для существенного расширения частотного диапазона измерительных приборов в направлении низких частот по сравнению с их паспортными данными.

Лабораторные измерения и расчеты позволили автору определить диапазон применимости методов коррекции только в случае значительного (на порядок и выше) превышения амплитуды полезного сигнала над собственными шумами измерительно-го канала в рабочем диапазоне частот.

В результате лабораторных исследований доказана возможность использования предлагаемых методов коррекции датчиков ускорений и скоростей при регистрации более низкочастотных сейсмических колебаний, что позволяет с их помощью уточнить динамические характеристики сейсмических волн и оценить параметры их источников.

В третьем разделе диссертации проведена апробация метода коррекции волновых форм при проведении натурных наблюдений на ГФО ИДГ РАН «Михнево» и мало-апертурной группой «Монаково», показавшая, что малогабаритные датчики с корректированными частотными характеристиками в некоторых случаях могут заменить более крупногабаритные и дорогие сейсмометры.

Особенно важным представляется вывод о возможности использования геофонов в скважинах на коренных породах с целью уменьшения влияния приповерхностного слоя, являющегося основным источником шумовых помех.

Расчеты, выполненные в четвертом разделе, демонстрируют некоторые потенциальные источники ошибок при определении геомеханических параметров источника сейсмических волн. Так, при мониторинге слабой сейсмичности можно ожидать существенной недооценки значения магнитуд, определяемых по объемным волнам и по сейсмической энергии, по отношению к величине моментной магнитуды слабых событий уже на расстояниях нескольких километров.

Метод численной коррекции зарегистрированных сейсмограмм при помощи метода умножения частотных характеристик позволяет практически полностью восстановить истинные значения движения грунта.

В качестве примера использования разработанного метода коррекции волновых форм, в пятом разделе, показана возможность использования широкополосных сейсмометров для анализа волновых процессов в диапазоне сверхнизких периодов (ниже 0.00028 Гц). По результатам синхронных сейсмических и гидрогеологических наблюдений впервые в платформенных условиях проведено исследование приливного отклика среды и выполнена оценка вариаций проницаемости флюидонасыщенного карбонатного коллектора трещинно-порового типа.

К несомненным достижениям автора следует отнести практическую разработку технологии обработки сейсмических сигналов, позволяющую уточнить параметры источников сейсмических волн, особенно при регистрации сейсмических сигналов малой амплитуды стандартными датчиками, используемыми при практических работах по микросейсмическому районированию в ограниченный промежуток времени.

Действительно, при построении закона повторяемости землетрясений необходимо определить, в том числе и количество слабых сейсмических событий вблизи от мест сооружений ответственных объектов, например объектов использования атомной энергетики. Снижение порога чувствительности системы регистрации позволяет в короткие сроки исследовать структурную приуроченность микроземлетрясений и оценить параметры сейсмического режима.

В качестве недостатков работы необходимо отметить следующее.

Автор отмечает, что «откорректированные» датчики GS-20 могут быть использованы при проведении измерений в скважине. В тоже время не обсуждаются вопросы крепления датчика в скважине, которые могут оказаться существенной проблемой при использовании предлагаемого метода.

При выполнении расчетов в разделе 4 автор использует модель среды с постоянной добротностью, независящей от частоты, в то время как во многих современных работах используются модели, в которых величина добротности пропорциональна частоте сигнала.

К недостаткам диссертации, пожалуй, следует отнести и слишком подробное описание в пятом разделе комплексного исследования приливного отклика среды. По моему мнению, достаточно было ограничиться упоминанием о том, как метод обработки сигналов, разработанный автором диссертации, позволил расширить частотный диапазон широкополосного датчика, используемого в исследованиях, что и послужило основанием выявления корреляционных связей между сейсмическим и гидродинамическим полями и действительно является несомненным научным достижением Бесединой А.Н.

Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, проведено достаточное количество лабораторных и полевых наблюдений, разработана методика обработки измерений, позволяющая выделить основные результаты слабых сейсмических воздействий на фоне влияния известных факторов – лунных приливов и изменений атмосферного давления. Достоверность полученных результатов подтверждается значительным объемом полученных автором экспериментальных данных, современной методики измерений и обработки, аналитическими оценками.

Для проектирования существенное значение имеет то, что результаты работы дополняют существующие способы оценки сейсмической безопасности, используемые при выборе площадок строительства объектов повышенного риска, что может повысить достоверность исходных данных и качество проектных работ.

Несомненно, что результаты диссертации будут использованы в научно - исследовательских и проектных работах, проводимых ОАО ВНИПИпромтехнологии и другими проектными институтами РОСАТОМА, в частности, при оценке долговременной сейсмической безопасности в предполагаемых местах расположения проектируемых пунктов захоронения радиоактивных отходов.

Содержание автореферата достаточно полно отражает содержание диссертационной работы.

Результаты работы достаточно полно отражены в публикациях и обсуждены на научных конференциях.

Эта диссертация является научно – квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для геофизики в области сейсмических воздействий расширенного частотного диапазона, позволяющее выяв-

лять влияние длиннопериодных волн землетрясений на возможно более высокочастотный отклик массива, позволяющий выявить его блочную структуру.

Данная работа написана единолично, содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты, имеет внутреннее единство и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

Диссертационная работа Бесединой Алины Николаевны на соискание ученой степени кандидат физико-математических наук «Научное обоснование методов коррекции волновых форм при проведении сейсмических наблюдений» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидат физико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения этой степени по заявленной научной специальности.

Официальный оппонент,

Начальник лаборатории сейсмобезопасности

и геофизических методов контроля ОАО ВНИПИпромтехнологии,

кандидат физико-математических наук

4 марта 2014 г.

Б.Г.Лукишов

Подпись официального оппонента заверяю

И.О.Заместителя директора по персоналу ОАО ВНИПИпромтехнологии



М.А. Орлова

## **Отзыв**

Отзыв официального оппонента на диссертацию Бесединой Алины Николаевны «НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ ВОЛНОВЫХ ФОРМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ» представленной на соискание на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Диссертация А.Н.Бесединой посвящена практически важным вопросам коррекции сейсмических наблюдений и состоит из двух самодостаточных частей, инструментально-методической и более физической. В первой части рассматриваются вопросы программной коррекции сейсмических наблюдений и демонстрируется возможность уточнения получаемой сейсмической информации с помощью такого подхода, во-второй части проводится совместная обработка сейсмологических и гидрогеологических наблюдений и показывается, что таким образом возможно выделить ряд важных физических характеристик, в частности, выделить такой тонкий эффект как существование вариаций фильтрационных параметров коллектора по фазовым характеристикам приливного отклика скважин. Тем самым демонстрируется возможность применения описанных в первых главах подходов для решительного расширения возможностей сейсмических наблюдений при решении широкого круга геофизических задач. Таким образом, в первой части диссертации рассматривается практически важная задача, а во второй демонстрируются важные примеры использования такого подхода.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы.

Во введении освещены актуальность темы, цель и задачи исследований, защищаемые положения, новизна, практическая значимость, реализация и апробация работы.

В первой главе «Анализ сведений о методах коррекции и областях их применения» автор описывает комплекс подходов, используемых для коррекции ограниченности спектрального диапазона применяемых сейсмографов и геофонов. При этом представляет значительный интерес расширение диапазона как в низкочастотную область (что позволяет изучать приливы и медленные деформации) так и высокочастотную (что важно для исследования слабой местной сейсмичности и взрывов). Отмечается также важность исследования низкочастотных шумов в плане мониторинга сейсмической опасности (в плане наблюданной часто тенденции роста периодов шумовых колебаний перед потерей устойчивости системой, в частности, перед сильным землетрясением). Автор приводит

достаточно полное описание комплекса возможных способов расширения частотного диапазона.

В тексте главы встречаются редакционные и стилистические погрешности. Так автор пишет «имеет небольшие размеры и дает постоянный отклик скорости в полосе от 120 с до 100 Гц» - вряд ли стилистически правильно так объединять секунды и частоты. «На практике имеет смысл использовать сейсмометр STS-1 для регистрации сейсмических сигналов на частотах около 1 мГц и ниже» - но этот прибор с успехом применяется и на много более высоких частотах. Автор приводит формулы  $f_1 = fo(h - \sqrt{h^2 - 1})$  и  $f_2 = fo(h + \sqrt{h^2 - 1})$ , где  $h$  - величина затухания», но при  $h = 0$  имеем отсюда чисто мнимые значения частот, что вряд ли вполне правильно (во всяком случае, требует пояснения). Не вполне понятно объяснение к рисункам 1.5 и 1.6.

Во второй главе «Метод коррекции частотной характеристики датчиков» рассматривается метод расширения низкочастотного диапазона датчика обратным фильтром, что является универсальным средством уменьшения нижней граничной частоты датчика. В главе на основе расчета шумов измерительных каналов, содержащих сейсмические датчики, усилители и корректирующие фильтры, расширяющие частотные характеристики каналов в область низких частот, оцениваются границы применимости подобных устройств в практике сейсмических наблюдений. Оценивается возможный предел расширения частотного диапазона указанным методом, для чего экспериментально сравниваются две параллельные записи, полученные двумя идентичными приборами.

Весьма интересным и полезным представляется продемонстрированная автором возможность использования широкополосных сейсмических датчиков в режиме деформографов. Обычно для проведения непосредственных измерений приливных деформаций применяют деформографы, это дорогостоящие приборы, которые в тектонически спокойных регионах типа Восточно-Европейской платформы используются довольно редко. Автором показано, что после коррекции вместо них могут быть использованы широкополосные сейсмические датчики, конкретно, типа STS-2. Путем применения развитой методики из записей сейсмометра STS-2, установленного на постаменте в шахте ГФО "Михнево" ИДГ РАН были выделены приливные волны M2 и O1. Это можно рассматривать как значительный успех. Были рассчитаны вертикальное смещение в приливной волне и вертикальная деформация.

Автором делается важный вывод, что исследование АЧХ и ФЧХ датчиков и проведенная оценка собственных шумов измерительных каналов СМ-ЗКВ и GS-20DX различными методами позволяет говорить о возможности использования геофонов GS-20DX с

расширенной частотной характеристикой (до 1-3 Гц) для регистрации промышленных взрывов. Сейсмометры СМ-3КВ с расширенной частотной характеристикой могут быть использованы для регистрации колебаний от удаленных землетрясений, включая регистрацию поверхностных низкочастотных волн.

В третьей главе «Апробация метода коррекции» продолжается рассмотрение вопроса. Апробация проводилась на примере расширения частотной характеристики высокочастотного геофона GS-20DX и короткопериодного сейсмометра СМ-3КВ. Эти приборы широко используются на территории России для проведения сейсмических наблюдений, что дополнительно повышает важность проведенных автором исследований.

По данным записей взрывов на Новогуровском карьере показано, что спектр геофона GS-20DX с расширенной характеристикой практически идентичен спектру по данным регистрации сейсмометром СМ-3КВ. Качественно аналогичные результаты получены и по результатам сравнения записи взрывов по данным малоапertureной группы «Монаково» при сравнении записей геофонов и широкополосного датчика REFTEK-151-30. Была исследована и проведена также коррекция фазового запаздывания геофонов с расширенной характеристикой относительно записи сейсмометров СМ-3КВ REFTEK-151-30.

Автор подчеркивает, что проведенное исследование свидетельствует, что малогабаритные геофоны с корректированными частотными характеристиками могут заменить при решении некоторых вопросов крупногабаритные и более дорогие сейсмоприемники СМ-3КВ и REFTEK-151-30 (т.е., обеспечивают возможность получения аналогичных записей в расширенном коррекцией диапазоне частот).

Аналогичным образом, показана возможность коррекции записи сейсмосметра СМ-3КВ в низкочастотную область. После такой коррекции записи откорректированного сейсмоприемника СМ-3КВ и более широкополосного датчика REFTEK78 -151-60 практически совпадают,

Аналогично, низкочастотная коррекция датчика СМ-3КВ позволила получить записи поверхностных волн удаленных сильных землетрясений близкие записям широкополосного сейсмометра СМ-3-Д.

Специально автором рассматривается вопрос о границах применимости метода коррекции; границы применимости определяются уровнем шума.

В четвертой главе «Мониторинг слабой сейсмичности» основное внимание автора уделено той важной проблеме, что при мониторинге слабой сейсмичности имеет место радикальное искажение излученного спектра при поглощении характерных для слабых

событий высоких частот. Следствием этого является тенденция недооценки значений магнитуд, определяемых по объемным волнам и по сейсмической энергии, по отношению к величине моментной магнитуды слабых событий, причем величина этой недооценки нарастает с увеличением расстояния. В этой связи возникает и важный вопрос о величинах амплитуд высокочастотных колебаний в самой ближней зоне. Этот вопрос связан и с проблемой продолжения закона повторяемости землетрясений в область малых событий. Обычно полагается, что относительно малое число регистрируемых слабых событий указывает на отклонение от закона Гутенберга-Рихтера в области слабых событий. Результаты автора дают основание интерпретировать этот дефицит и как следствие систематической недооценки числа и силы слабых событий.

Встречаются и неточности, так автор пишет «что означает независимость отношения  $Es/M0$  от масштаба события в предположении постоянства скачка напряжений» - что не вполне верно, отношение  $Es/M0$  характеризует не скачок напряжений, а величину кажущегося напряжения. Автор также неоднократно использует сочетание слов «истинные» параметры источника», смысл которого не вполне ясен, а из контекста видно, что так им называются параметры, характеризующие только величину события, при этом некоторые такие характеристики полагаются «истинными», а некоторые нет. Рецензенту такое сугубо авторское словосочетание (тем более в этом смысле) удачным не кажется.

На рис.4.2 и 4.3 представлены оценки скоростей движения грунта (расчетные и измеренные) для набора значений величины события и эпицентральных расстояний. Для расчетов используется модель Брюна. Показано, что расчетные зависимости находятся в разумном соответствии с эмпирическими данными в широком диапазоне масштабов событий и расстояний, что дает основание использовать модель Брюна для получения количественных оценок параметров слабых землетрясений. Некоторые вопросы здесь изложены в диссертации не вполне полно и понятно. А на рисунке 4.4 приведено по оси у скорости смещения в м/с, но при этом написано на рисунке, что прибор акселерометр. На рис.4.4 отсутствует уровень шума, показанный согласно подписи к рисунку, черной линией.

Автор обсуждает возможные неточности оценки величин магнитуды из-за особо высокочастотного характера излучения слабых событий и высокого поглощения высоких частот. Автор аргументирует, что благодаря введению коррекции как в области больших так и малых частот удается скорректировать сейсмограмму до «истинного» (теоретически ожидаемого) движения грунта, что позволяет оценивать магнитуду сейсмического события более точно.

Можно согласиться с автором, что проведенное исследование позволяет говорить о неэффективности используемых зависимостей определения магнитуд для слабых событий или, по крайней мере, о необходимости введения поправок. Отметим, что для локальных групп «Михнево» и «Монаково» получены разные тенденции изменения величин  $m_b - m$ (теор), что указывает на сложность проблемы и необходимость дополнительных исследований.

В разделе 4.4 автором исследуется возможность выделения длиннопериодных колебаний в записи микросейсмического фона по данным записей станции ГФО «Михнево», оборудованной широкополосным сейсмометром КСЭШ-Р. Регистрация демонстрирует чередование участков стационарного и нестационарного характера записи (всплески амплитуды записи). Предполагается, что всплески отвечают изменчивости напряженно-деформированного состояния земной коры и связаны с релаксационными процессами в блочной среде. Рассматривается модель «массы на пружинке», где под массой имеют в виду данный блок, а под пружинками – ограничивающие блок зоны нарушений с существенно меньшим (чем цельный блок) значениями жесткости. Автор полагает жесткость зон нарушений примерно на порядок меньшей средних значений и получает оценки величин собственных периодов колебания блока характерным размером в 10 км в десятки секунд. Отмечается, что развитие нестабильности связано с уменьшением жесткости (прочности) сдвиговых зон нарушений, что находит отражение в уменьшении собственных частот колебаний исследуемой системы. Представляется очень важным этот вывод диссертанта по данным о наблюдении микросейсм. Ранее этот результат был теоретически предсказан Хакеном и наблюдался затем перед рядом сильных землетрясений в работах Г.А.Соболева и Б.В.Левина с соавторами. Отметим, что аналогичный эффект имеет место в ряде общих экологических моделей и финансовых рядах данных. Рецензенту, получившему ранее эти результаты, было очень приятно встретить еще одно применение этой закономерности. Результаты автора указывают на расширение сферы применения этой важной общей закономерности развития процессов неустойчивости. Автор правильно подчеркивает, что этот эффект может оказаться удобным индикатором возникновения нестабильности при проведении сейсмологических исследований в окрестности очага будущего землетрясения. Применение рекомендуемых автором методов коррекции волновых форм позволяет выявлять такие изменения более четко.

В пятой главе «Исследование проявления солнечно-луных приливов при совместном анализе сейсмических и гидрогеологических данных» автор распространяет свой подход на ультразвуковые колебания. Излагаются результаты совместного

анализа данных сейсмических и гидрогеологических наблюдений на ГФО «Михнево». В частности, приводятся результаты исследования приливного отклика среды и выполнены пионерские оценки вариаций проницаемости коллектора подземных вод по такого рода данным. Для оценки приливных деформаций автор использует записи широкополосного шахтного велосиметра STS-2, с учетом описанных ранее способов коррекции на основе применения гравитационных свойств инерционной массы сейсмометра. Уровнемерные наблюдения проводились на базе напорного алексинско-протвинский водоносного горизонта нижнего карбона вскрытого наблюдательной скважиной в интервале глубин 92-115 м. Целью работы было выделение полезных приливных сигналов в сейсмических и гидрогеологических рядах данных. Синхронная регистрация атмосферного давления и уровня воды позволяет рассчитать коэффициент барометрической эффективности. Значение барометрической эффективности использовалось далее для очистки исходного уровня воды от влияния атмосферного давления. Данные приливных наблюдений сопоставлялись с теоретическими значениями величин приливов, рассчитанным по программе ETERNA для точки расположения полигона «Михнево». На спектрах величин уровня воды и смещения грунта выделены 8 основных приливных волн - суточные Q1, O1, K1, P1 и полусуточные N2, M2, S2, K2. Наибольшую амплитуду в уровне подземных вод имеет полусуточная приливная лунная волна M2, в значениях смещениях грунта наиболее выражена суточная волна лунно-солнечного типа K1. Интересно отметить, что в наблюденном спектре атмосферного давления присутствует только одна полусуточная приливная волна S2, а суточная волна не выделяется на уровне шума.

Анализ приливов в сейсмических данных, полученных на территории ГФО «Михнево» выполнен автором по данным наблюдений с 01.01.2011 г. по 31.05.2011 г., за который имеются непрерывные ряды регистрации как датчика уровня, так и широкополосного сейсмометра. В рассматриваемых данных выделяются участки, в пределах которых прослеживается расхождение в формах огибающих между экспериментальными и теоретическими значениями, наиболее значимо выраженные в полусуточной приливной компоненте. В частности, наблюдано изменение режима в связи с мега-землетрясением Тохоку. Другие наблюденные расхождения ассоциируются с переходом средних температур через ноль и с периодами быстрых изменений температур воздуха. В приливных компонентах уровня подземных вод отклик на землетрясение Тохоку выражен слабее. Автором был выполнен комплексный анализ приливных компонент в сейсмических и гидрогеологических данных, очищенных от длиннопериодной составляющей и вклада атмосферного давления, за период с февраля 2009 г. по февраль 2011 г. Были построены ежемесячные спектры амплитуд вариаций

скорости смещения грунта и уровня воды. Для приливных волн лунно-солнечного типа K1 и солнечной гармоники S2 были прослежены четко выраженные годовые и полугодовые циклы, соответствующие теоретическим вариациям приливных объемных деформаций для Московского региона.

Определение проницаемости коллектора было проведено автором на основе анализа приливной волны лунного типа M2. Для выделения фаз приливных волн в уровне подземных вод и в смещениях грунта проводилась предварительная полосовая фильтрация исходных рядов в полосе 8-26 ч для выделения приливных компонент, далее приливная компонента представлялась в виде гармонической функции. Приливная составляющая уровня воды запаздывает относительно смещений грунта, что позволяет оценить изменения проницаемости коллектора. На основании математической модели автором была выполнена оценка водопроводимости с учетом конструкции скважины, упругой емкости водовмещающих пород и фазового запаздывания уровня воды относительно вариаций гидростатического напора в пласте (предполагалось, что скважина идеальная, а напорный горизонт протяженный, однородный и изотропный).

С учетом того, что изменение порового давление в резервуаре колеблется в противофазе с изменением объемной деформации, автор рассчитывает фазовый сдвиг между уровнем воды в скважине и гидростатическим напором. Имея продолжительные записи уровня воды в скважине и значения приливных деформаций можно определить значение водопроводимости пласта и его проницаемость. Большему запаздыванию уровня воды относительно приливных колебаний в смещении грунта соответствуют пониженные значения проницаемости пласта. Крайне интересно, что автором получены относительно пониженные (почти на порядок) значения проницаемости для участков нестационарного режима. Представляется, что было бы очень интересно проверить это наблюдение. Из соображений общего характера следовало бы ожидать скорее обратного, что нестационарным переходным режимам соответствуют большие значения проницаемости.

Наиболее существенные выводы диссертант формулирует в заключении. Все сформулированные в Заключении положения достаточно обоснованы и защищены текстом диссертации

В целом заключаем, что диссертантом проведена очень большая и разнообразная по характеру работа, в процессе выполнения которой он показал себя разносторонним специалистом, реализовавшим как серии мониторинговых наблюдений, так и построение и использование математических моделей исследуемых процессов, позволивших ему грамотно и убедительно интерпретировать весь комплекс полученных данных.

Совокупность исследований, проведенных А.Н.Бесединой, можно квалифицировать как решение задачи, имеющей важное значение для геофизики. Диссертация отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, несомненно, достоин присуждения ему искомой ученой степени по специальности 25.00.10 «геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

04.03.2014 г.

Гнс, д.ф.-м.н. М.В.Родкин



Подпись гнс д.ф.н. М.В.Родкина  
заверяю  
Ученый секретарь ИГИЗ РАН  
Д.Ф.-М.Н. А.И. Горшков

