

УДК 550.831

## СВЯЗЬ НЕПРИЛИВНЫХ ВАРИАЦИЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА СИЛЫ ТЯЖЕСТИ С СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ ЗЕМНЫХ НЕДР

Ю.В. Антонов, Л.И. Надежка, И.Н. Софронич, К.С. Черников

*Воронежский государственный университет*

В статье анализируются спектры сейсмических колебаний и неприливных вариаций вертикального градиента силы тяжести. На основе этого анализа впервые удалось установить однозначную связь между сейсмическими колебаниями и вариациями градиента. Высказано предположение о существовании грависейсмического поля.

В конце 80-х годов кафедрой геофизики Воронежского госуниверситета были экспериментально обнаружены неприливные вариации вертикального градиента силы тяжести. Элементарные расчеты показали, что интенсивность изменения вариаций в реальности на два - три порядка превосходит расчетные. То, что наблюдается такое несоответствие между теоретическими и расчетными данными при измерении вариаций производных, было подтверждено независимыми исследованиями С.М. Крылова и Г.А. Соболева [7]. Причем исследования Воронежского университета и Объединенного института физики Земли РАН проводились разными приборами: в г. Воронеже с помощью гравиметров, а в г. Москве гравитационным вариометром. Тем не менее выводы практически идентичны, что является лишним подтверждением указанного обстоятельства о несоответствии экспериментальных и теоретических представлений о вариациях производных гравитационного поля Земли.

Для выяснения причины этих изменений в период с 1986 по 1995 гг авторами были проведены исследования по изучению неприливных вариаций градиента. Измерения проводились микрогальным гравиметром с ценой деления 0,4 мГал/об. Для этого измерялись приращения силы тяжести между точкой, находящейся на уровне земли, и на высоте 0,75 м. Градиент вычислялся как разность среднего из двух значений силы тяжести внизу и одного значения наверху или наоборот. Интервал времени между двумя соседними замерами на нижней (верхней) точке составил от 3 до 10 минут, поэтому смещение нуля-пункта прибора за это время уверенно можно считать линейным [2]. Относительно того, какая

величина измеряется в данном случае, можно ответить следующим образом. Если подходить с чисто математической точки зрения, то измеряемая величина является вертикальным приращением силы тяжести для некоторой высоты, на нижнем и верхнем концах которой измерена сила тяжести. Если же исходить из практических соображений, то указанное приращение, поделенное на разность высот, является вертикальным градиентом силы тяжести. Учитывая, что источником вариаций являются глубинные источники. В дальнейшем в тексте вертикальное приращение силы тяжести и вертикальный градиент несут одинаковую смысловую нагрузку.

Полученные результаты показали, что измеренные вертикальные приращения силы тяжести сильно изменяются во времени. Причем, наряду с приливыми вариациями, период которых составляет часы и более, уверенно выделяется широкий спектр короткопериодных колебаний силы тяжести с периодом от 2 до 74 минут. Особый интерес представляли колебания с периодом порядка 35 и 54 минут, т.к. они имеют наибольшую амплитуду, которая достигает 0.01-0.02 мГал/м. При анализе наблюдений неприливных вариаций вертикального градиента во время Молдавского (1990 г.) и Кавказского (1991 г.) катастрофических землетрясений было высказано предположение о связи неприливных вариаций с собственными колебаниями Земли. Основанием этому служила, прежде всего, связь между собственными колебаниями и неприливыми вариациями силы тяжести. Ведь сила тяжести и ее вертикальный градиент суть производные от функции притяжения. Правда, в данном случае последнее условие связи силы тяжести и ее градиента с потен-



Рис. 1. Спектры сейсмических колебаний при разном шаге сглаживания

циалом притяжения в какой-то мере нарушается. Амплитуда измеренных вариаций градиента в несколько раз больше теоретических значений. Причины этого пока неясны и авторы статьи отмечают это лишь как установленный факт. Чтобы доказать связь между вариациями градиента и собственными колебаниями, достаточно было провести измерение неприливных вариаций градиента в различных двух или более пунктах Земли, удаленных на значительные расстояния друг от друга. И если вариации между собой совпадают, то вопрос решается однозначно. Дело в том, что гравиметрами, в отличие от сейсмографов, фиксируются только сфероидальные колебания, которые возникают вследствие деформации Земли за счет сдвига масс в ее недрах в результате сжатия и расширения. Собственные колебания Земли вызываются землетрясениями и существует бесконечное число форм собственных колебаний. Так, по крайней мере, считают некоторые исследователи [10-13], хотя этот вопрос является дискуссионным. Тем не менее собственные колебания Земли, предсказанные ранее научными исследованиями по теории упругости, впервые были подтверждены после Камчатского и Чилийского землетрясений.

Проще всего выглядят радиальные колебания, т.е. колебания, при которых частицы смещаются только вдоль радиусов. Основной тон колебаний представляет собой попеременное сжатие и расширение всей Земли. Высшие тона (обертоны) радиальных колебаний имеют сферические узловые поверхности внутри Земли. Радиальные колебания - это частный случай сфероидальных колебаний, при которых в общем случае движение имеет составляющие как в направлении радиуса, так и вдоль поверхности Земли. Таким образом, если неприливные вариации связаны с собственными колебаниями Земли, то они должны также распространяться по радиусу Земли, и приходить в различных точках

Земли практически одновременно с одними и теми же волновыми характеристиками.

Впоследствии такие измерения были сделаны. В городах Мирном (Якутия) и в Воронеже были проведены синхронные наблюдения вертикального градиента силы тяжести [2,3]. После анализа наблюдений вертикального градиента было установлено, все выделенные периоды колебаний в Мирном и Воронеже полностью совпадают между собой, что и явилось доказательством связи собственных колебаний Земли и неприливыми вариациями вертикального градиента силы тяжести.

Но поскольку с одной стороны собственные колебания Земли связаны с неприливыми вариациями градиента, с другой сейсмические колебания связаны с изменением силы тяжести, то логично предположить, что вертикальная составляющая сейсмических колебаний должна быть связана с неприливыми вариациями градиента.

Для выяснения связи между сейсмическими колебаниями и вариациями вертикального градиента силы тяжести были вычислены частотные спектры сейсмических записей во временных рамках, в которых вычислялись спектры неприливных вариаций. Дело в том, что сейсмическая запись идет непрерывно с частотой 50 измерений в секунду. Следовательно, в этой записи присутствуют частоты различной амплитуды и длительности. Часто при вычислении спектров высокочастотные гармоники с большой амплитудой практически затухают на низкие частоты. Известно, что спектры зависят от интервала, на котором вычисляется спектр, и шага дискретизации. В качестве примера (рис.1) можно привести частотные спектры сейсмических колебаний для одного и того же дня, но интервалы разложения и дискретизации отличаются в два раза. При общем характере спектров имеются существенные расхождения в некоторых деталях.

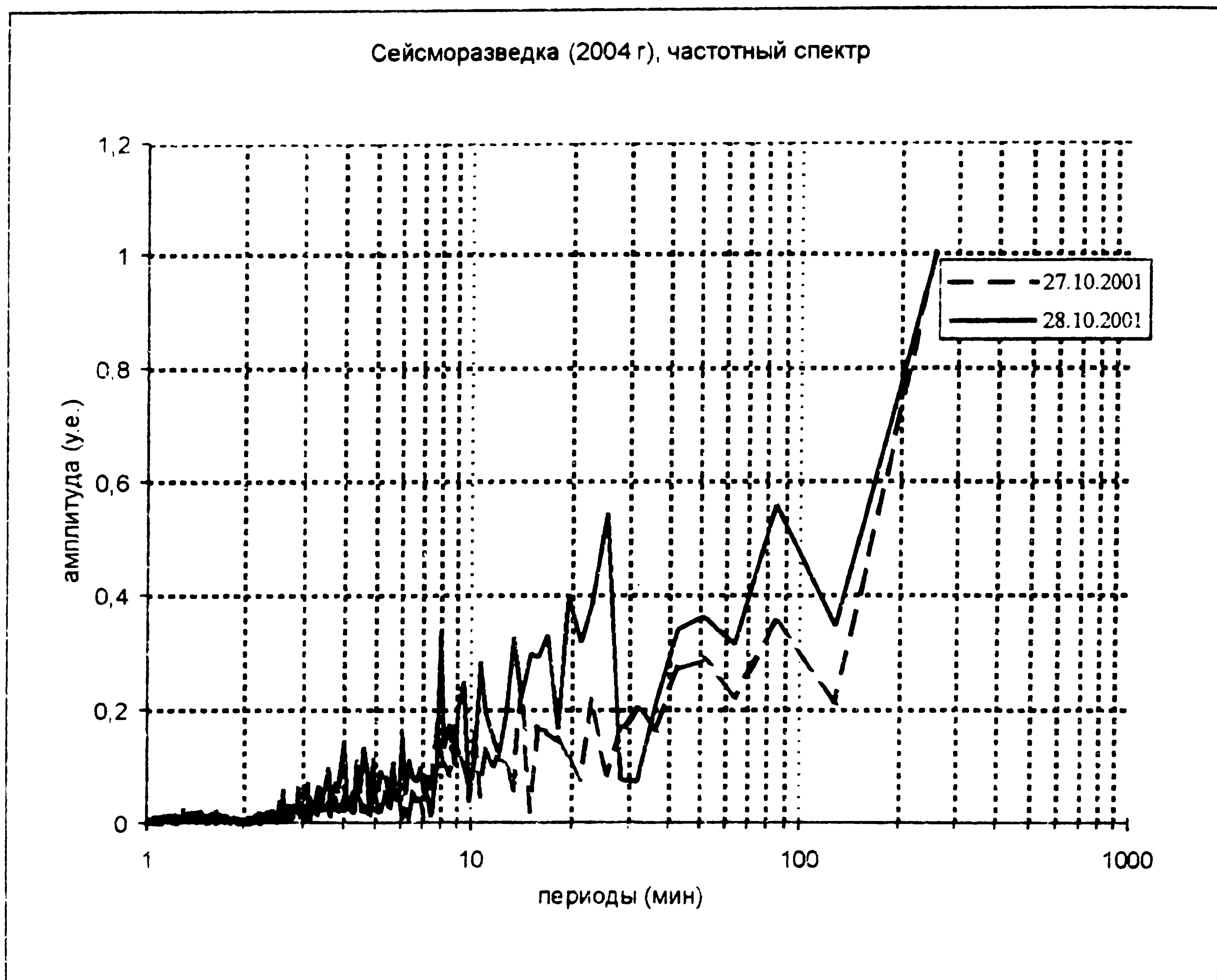


Рис. 2. Повторяемость сейсмических спектров в разные дни

Поскольку наблюдение вариаций вертикального градиента велось с шагом 2-3 минуты, то сейсмические колебания были сглажены простым осреднением с окном в одну минуту на интервале 3 и 6 часов. Интервал, на котором считались спектры также определялся имеющимися гравиметрическими наблюдениями. В результате осреднения часть высокочастотных колебаний отбрасывалась, а ограничением длины интервала разложения в ряд Фурье ослаблялись низкочастотные гармоники. Длина интервала разложения определялась следующими соображениями. Поскольку интересующие нас собственные колебания не превышают одного часа, то утроенной длины интервал разложения обеспечивает вполне обнаружение гармоник с периодом в один час. Нижним пределом надежного обнаружения считаются гармоники с периодом 10 и более минут, если принимать шаг дискретизации 3 мин.

Вычисленные спектры сейсмических колебаний (рис.2) и неприливых вариаций градиента силы тяжести (рис.3) показали, что основные периоды совпадают между собой. Наиболее значимыми периодами для условий Русской платформы являются периоды в 25 и 51 мин.

В заключение можно констатировать, что сейсмические колебания земной коры однозначно связаны с неприливыми вариациями вертикального градиента силы тяжести и имеют одну и ту же природу, что и собственные колебания Земли, и скорее всего являются производными собственных колеба-

ний. Можно высказать предположение о существовании грависейсмического поля по аналогии с электромагнитным. Необходимо отметить также небольшое различие между основными спектрами сейсмических колебаний и вариациями вертикального градиента, что может быть связано с различным прохождением сейсмических и гравитационных колебаний через толщу Земли.

*Работы проведены при поддержке грантов РФФИ № 03-05-64037 и Интеграция № Э3156.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю.В., Слюсарев С.В. Неприливные вариации вертикального градиента силы тяжести и их возможная связь с землетрясениями // Изв.вузов. Геол. и разведка. -1992. -№5. -С 105-110.
2. Антонов Ю.В., Слюсарев С.В., Чирков В.Н. Результаты синхронных наблюдений за изменением вертикального градиента в Якутии и на Воронежском массиве // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. - 1996. -№2. -С.182-186.
3. Антонов Ю.В., Манаков А.В., Слюсарев С.В. Возможная природа вариаций вертикального градиента силы тяжести // Изв. вузов. Геол. и разведка. -1996. -№1. - С.144-145.
4. Антонов Ю.В., Слюсарев С.В., Чирков В.Н. Неприливные вариации вертикального градиента силы тяжести // Геофизика. -1997. -№ 1. -С. 37-42.
5. Антонов Ю.В., Слюсарев С.В., Чирков В.Н. Долгопериодные вариации вертикального градиента силы тяжести // Геофизика. -2000. -№ 4. -С. 45-52.

гравиразведка, амплитудный спектр

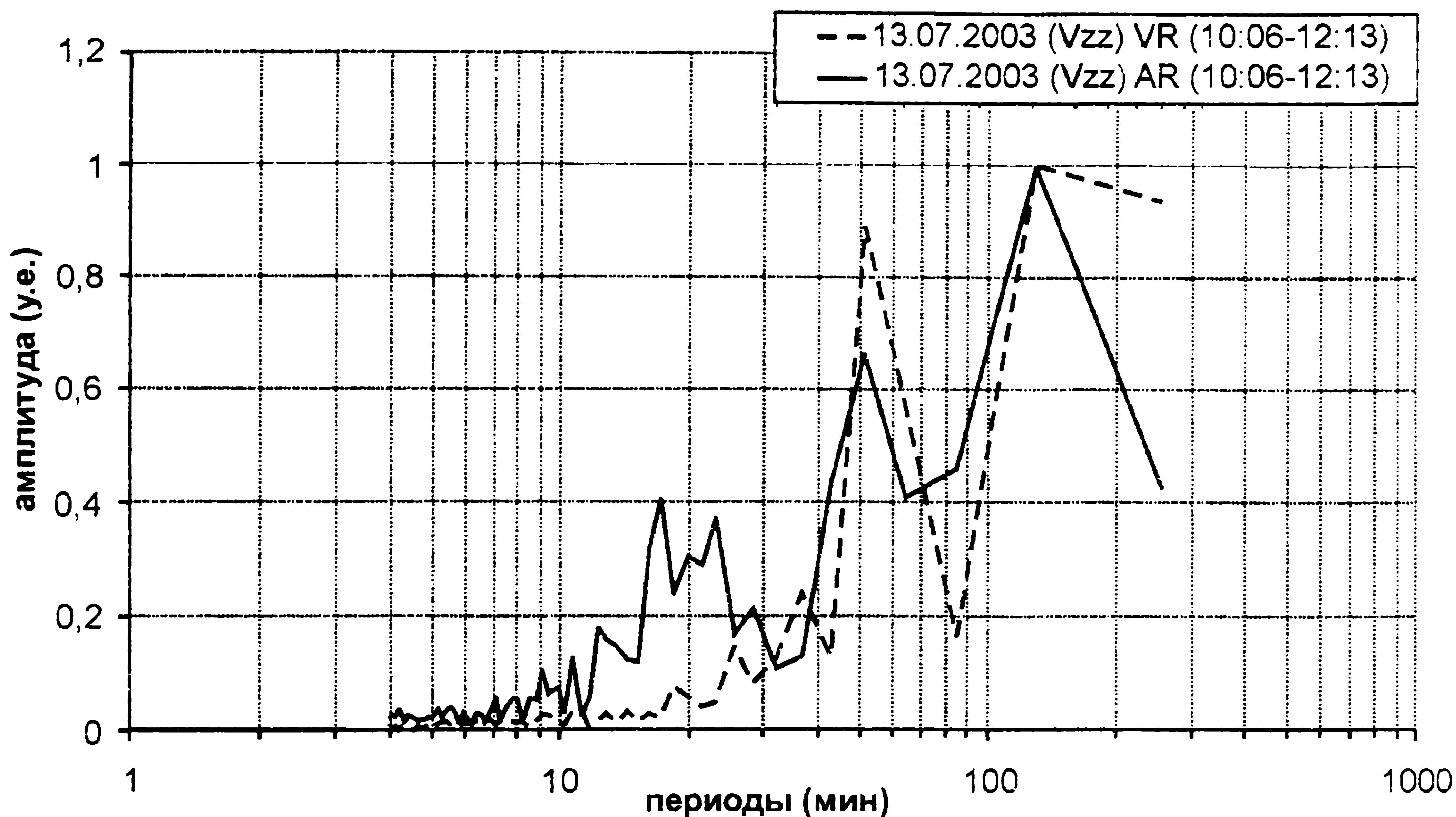


Рис. 3. Спектры вариаций вертикального градиента силы тяжести

6. Изучение высокочастотных сигналов гравиметра и микросейсм / Chen Yi-hui, Lei Yu-tian, Zhu Han-yun, Guo Zi-qiang // Дицю ули сюзбао-Acta. geophys. sin. - 1988. -Vol. 31, № 5. -С. 71-80.  
 7. Крылов С.М., Соболев Г.А. О вихревых гравитационных полях естественного и искусственного происхождения и их волновых свойствах // Вулканология и сейсмология. -1998. -№3. -С.78-92.  
 8. Линьков Е. М. Сейсмические явления. -Л., 1987. -С.247.  
 9. Линьков Е.М.,Петрова Л.Н., Зуравишвили Д.Д. Сейсмогравитационные колебания Земли и связанные с

ними возмущения атмосферы // Докл. АН СССР. - 1989. Т. 306. № 1. -С. 75-77.  
 10. Некоторые результаты повторных измерений вертикального градиента силы тяжести / М.Б. Штейман, А.В. Копаев, И.А. Леонтьев и др. // Повторные гравиметрические наблюдения. -М., 1988. -С. 35-40.  
 11. Стейси Ф. Физика Земли. -М., 1972. -342 с.  
 12. Собственные колебания Земли // Под ред. Жаркова. - М.,1964. -315 с.  
 13. Pekeris C.L., Jarosh H. Terrestrial // Geophysics. -V.1. - 1958. -P.171.

УДК 550.34.06

## ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СТАНЦИЙ VRS

А.И. Дубянский

Воронежский государственный университет

Получена оценка возможности сейсмостанции VRS (с. Сторожевое, Воронежской области) регистрировать землетрясения, происходящие в сейсмоактивных зонах на Евро-Азиатском континенте. Установлена различная вероятность регистрации землетрясений, зависящая не только от расстояния источник-станция и энергии, но и от геоструктурного положения эпицентров.

Геофизической службой Российской академии наук при участии Лаборатории глубинного строения, геодинамики и сейсмического мониторинга Воронежского государственного университета в 1999г была ус-

тановлена в с. Сторожевое Острогожского района Воронежской области сейсмическая станция VRS. Выбор места установки станции был сделан на основании специальных изысканий и сравнительного