

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНОВ КУЗБАССА И ОЗЕРА БАЙКАЛ

А.А. Брыксин, В.С. Селезнев

Геофизическая служба СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

По материалам каталога сейсмических событий Сибирского региона оценено влияние человеческой деятельности на естественную сейсмичность. Исследовано локальное вмешательство человека в природные процессы на примерах проведения промышленных взрывов при добыче полезных ископаемых карьерным способом в Кузбассе и эксплуатации участка железной дороги вдоль берега оз. Байкал. Выявлено изменение сейсмической эмиссии во времени при воздействии на среду мощными вибраторами, работающими в монохроматическом режиме.

Сейсмичность, техногенность, Алтай-Саянский регион, Кузбасс, Байкал.

THE IMPACT OF TECHNOGENIC FACTORS ON THE SEISMICITY OF THE KUZNETSK BASIN REGION AND LAKE BAIKAL

A.A. Bryksin and V.S. Seleznev

Using the materials from the catalogue of seismic events in the Siberian region, we estimated the impact of man's activity on natural seismicity. Local man's intervention into natural processes has been studied by the examples of commercial explosions during the quarry mineral mining in the Kuznetsk Basin and the exploitation of the railroad site along the shore of Lake Baikal. Seismic emission is shown to change with time under the impact of powerful monochromatic vibrators on the environment.

Seismicity, technogenic impact, Altai-Sayan region, Kuznetsk Basin, Baikal

ВВЕДЕНИЕ

Современная сейсмология все чаще уделяет внимание вопросам изучения влияния техногенных факторов на сейсмичность как в глобальном масштабе, так и в отдельных регионах земного шара. Могут ли влиять такие мощные источники возбуждения сейсмических волн, как подземные ядерные, промышленные взрывы, работа крупных вибрационных комплексов, тяжелые грузовые железнодорожные составы на процессы возникновения и (или) ослабления сейсмической активности, а если могут, — то каким образом?

В статье [Кондратьев, Люкэ, 2007] делается вывод о том, что воздействие крупных землетрясений и атомных взрывов в виде инициирования новых землетрясений в общем случае близко к нулю.

По результатам сейсмологических исследований на Кольском полуострове [Ловчиков, 2005] было отмечено, что необходимость контроля законсервированных рудников является не менее важной задачей, чем оценка геодинамической опасности действующих, хотя в недалеком прошлом считалось, что основные силы следует уделять работающим выработкам.

В докладе [Климанова, Батугин, 2003] авторами подчеркивается, что интенсификация добычи угля подземным и открытым способами в Кузбассе имеет устойчивую взаимосвязь с увеличением сейсмической активности в названном районе, также схожая тенденция наблюдается на других рудниках и шахтах как в России, так и за рубежом.

Цель данной работы состоит в рассмотрении нескольких примеров влияния техногенных процессов на изменение сейсмичности в Сибирском регионе России.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Геологическая служба (ГС) СО РАН проводит постоянный мониторинг сейсмической активности в ряде районов Кузбасса. Известно, что, по геологическим и геоморфологическим данным, максимально возможная магнитуда события на юге данной территории оценивается как $M_{\max} = 6$ (по данным карт сейсмического районирования России ОСП-97).

В начале 30-х годов прошлого века началось интенсивное освоение Кузбасского угольного бассейна. Построены крупные металлургические комплексы (являющиеся мощными техногенными источниками вибрационного излучения), протянута сеть железных дорог для крупнотоннажных грузовых пере-

возок, началась активная добыча полезных ископаемых карьерным методом, т.е. с использованием промышленных взрывов.

Отметим, что в минувшие 10—15 лет в соседнем Алтайском крае произошла серия значительных землетрясений, что практически никак не сказалось на сейсмической активности в Кемеровской области.

Таким образом, существует гипотеза, что постоянное вмешательство человека в естественные процессы сейсмичности земной коры путем создания множества малых сейсмических событий позволило постоянно разгружать накапливающиеся напряженные состояния в потенциальных эпицентрах землетрясений и не допустить события высокого энергетического класса.

Наиболее значимые залежи полезных ископаемых, добыча которых производится открытым способом с использованием промышленных взрывов, находятся вдоль условной линии Польшаево—Осинники (рис. 1).

В работе нами будет использован каталог сейсмических событий, который составлен на основе данных сети сейсмологических станций ГС СО РАН и результаты сейсмологического мониторинга в окрестностях городов Польшаево и Осинники [Еманов и др., 2009].

Инструментальные наблюдения за сейсмической активностью ведутся в Алтае-Саянском регионе начиная с 1963 г. В силу того, что обработка поступающей от сети станций информации занимает значительное время, мы ограничимся выборкой событий, произошедших в период 1963—2004 гг. По возможности специалистами исключены события, происхождение которых не носит естественного характера.

Для более точного исследования процессов, происходящих в интересующем нас районе, общая выборка данных была сужена. За основу принята область в диапазоне географических координат 52—

Рис. 1. Обзорная карта исследуемого района.

400

Рис. 2. Графики повторяемости, построенные на статистических данных по Кузбассу.

1 — общий АСР, 2 — общий Кузбасс, 3 — зона взрывов, 4 — день АСР, 5 — день Кузбасс, 6 — ночь АСР, 7 — ночь Кузбасс.

56° с.ш., 84—90° в.д. Ее площадь составляет около 160000 км², территория проведения промышленных взрывов находится в центральной части.

Всего в изучаемую выборку попало 702 события из общего каталога (общее число — 51061 запись), обладающих энергетическими характеристиками от 3-го до 12-го класса.

Далее суженная выборка разбивалась на дневную (от 8 до 20 ч по местному времени, GMT +7) и ночную части. Такое деление необходимо, чтобы гарантированно исключить влияние на график повторяемости проводимых промышленных взрывов. Проведение взрывных работ в ночное время запрещено.

Помимо этого рассматривались данные сейсмологического мониторинга, проводившегося в районах городов Полысаево и Осинники. Общее количество составило 2090 событий в диапазоне от 1-го до 8-го энергетического класса. Эти данные были экстраполированы на площадь и временной период изучаемого района.

В результате по всему спектру данных были построены графики повторяемости, приведенные на рис. 2.

Анализируя прямые, построенные с использованием линейной аппроксимации, для энергетических классов с достаточной представительностью, можно отметить следующее:

1. Линии трендов для данных каталога всего Алтае-Саянского региона, а также выборки для дневной и ночной части (на рис. 2 это соответственно прерывистые прямые) имеют примерно одинаковый угол наклона.

2. Линии трендов для суженной выборки по Кузбассу характеризуются достаточно сильно отличающимися угловыми коэффициентами — для ночной части выборки $\gamma_{\text{НК}} = -0.41 \pm 0.03$, в то время как для дневной $\gamma_{\text{ДК}} = -0.54 \pm 0.04$. Отметим, что значение $\gamma_{\text{ОК}} = -0.48 \pm 0.01$ для линии тренда всей выборки по Кузбассу можно считать равным $\gamma_{\text{ОАСР}} = -0.48 \pm 0.01$ для всего Алтае-Саянского региона — по данным графика повторяемости, построенного на основе всех записей общего каталога.

3. Линия тренда для зоны мониторинга (окрестности городов Осинники и Полысаево) имеет еще более крутой угол наклона с $\gamma_{\text{ЗВ}} = 0.90 \pm 0.05$.

Поскольку с увеличением угла наклона прямой растет скорость ее падения к оси X, то, в соответствии с законом повторяемости, это имеет физический смысл преобладания числа событий меньшего энергетического класса над более крупными землетрясениями.

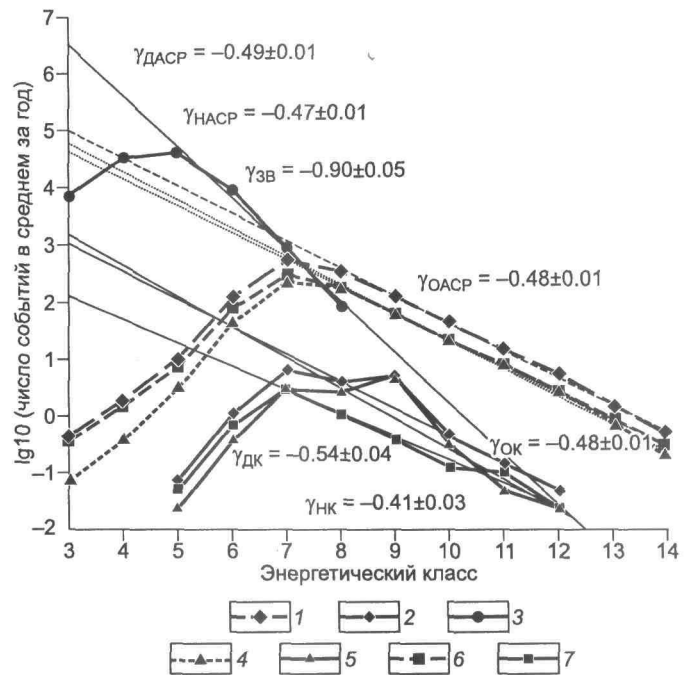
Таким образом, анализ представленных данных показывает, что постоянные взрывные работы на рудниках (а они являются именно такими в дневное время суток) снимают напряжения и приводят к уменьшению вероятности возникновения разрушительных сильных землетрясений.

ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМИЧНОСТИ ВДОЛЬ УЧАСТКА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ (БАЙКАЛ)

Байкальский филиал ГС СО РАН, находящийся в Иркутске, занимается углубленным изучением сейсмических процессов, происходящих в этом уникальном регионе. Одной из задач, стоящих перед филиалом, является изучение сейсмической обстановки около железнодорожной трассы, проходящей вдоль южного берега Байкала.

На основании многолетних наблюдений (с 1960 по 2004 г.) была отмечена интересная закономерность, возникающая на участке дороги Иркутск—Улан-Удэ (рис. 3).

Прохождение грузовых составов на этом отрезке пути отличается высокой интенсивностью — в значительную часть времени наблюдений (1960—1991 гг.) тяжелогруженные поезда (до ста вагонов мас-



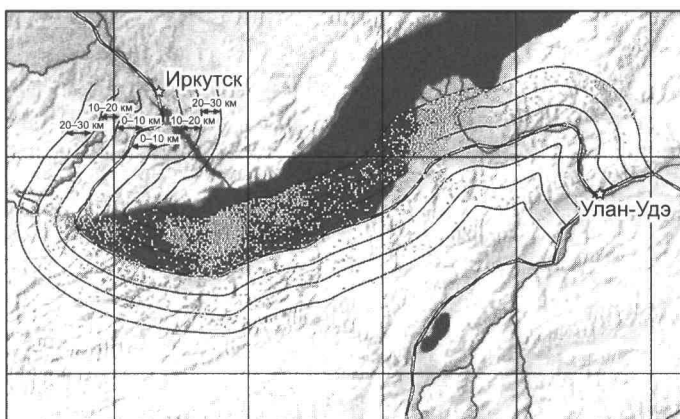


Рис. 3. Обзорная карта участка железной дороги вдоль Байкала.

сой по 60 т) проходили здесь с интервалом менее 10 мин. Такое воздействие вполне правомерно сравнить с включением крупного вибрационного источника на 3—4 мин не менее 5 раз в час.

Для оценки влияния столь мощного техногенного фактора были выбраны три полосы шириной 10 км, идущие параллельно путям и отстоящие на них до 30 км в условно восточном и западном направлениях. Дан-

ные о распределении сейсмических событий по этим полосам были подготовлены сотрудницей Байкальского филиала ГС СО РАН Гилевой Надеждой Алексеевной.

Объем общей выборки в полосе от 0 до 30 км составил 4212 единиц в диапазоне от 5-го до 14-го энергетического класса. При построении графиков повторяемости учитывалась удаленность события от полотна железной дороги, т.е. воздействия восточного и западного направлений суммировались.

В результате были построены графики повторяемости, приведенные на рис. 4.

Проведя анализ прямых линейной аппроксимации, построенных по значениям для энергетических классов с достаточной представительностью, отмечаем:

1. Линии трендов для данных всей полосы от 0 до 30 км, а также выборок для диапазонов от 10 до 20 и от 20 до 30 км (на рис. 4 — сплошные прямые) имеют в среднем одинаковый угол наклона графиков повторяемости (соответственно $\gamma_{0-30} = -0.44 \pm 0.02$, $\gamma_{10-20} = -0.43 \pm 0.01$, $\gamma_{20-30} = -0.45 \pm 0.02$).

2. Линии тренда, построенные по данным, полученным в ближайшей к железной дороге полосе, имеют угол наклона $\gamma_{0-10} = -0.50 \pm 0.02$, отличающийся от $\gamma_{\text{ср}} = -0.44 \pm 0.02$ — среднего от упомянутых в п. 1 коэффициентов даже с учетом абсолютных погрешностей.

Стоит дополнительно подчеркнуть, что, согласно источнику [Ключевский и др., 2005], угол наклона графика повторяемости для юго-западного района Байкальского региона очень близок к полученному в п. 2 среднему значению и составляет -0.45 ± 0.03 .

Проводя рассуждения, аналогичные тем, которые были сделаны при анализе графиков повторяемости в районе Кузбасса, можно сделать вывод, что регулярное движение поездов оказывает очевидное воздействие на напряженное состояние в ближней от железной дороги зоне.

ЭКСПЕРИМЕНТ НА ВИБРАЦИОННОМ ПОЛИГОНЕ

В конце октября 2007 г. на вибрационном полигоне ГС СО РАН (с. Быстровка, Новосибирская область) был проведен следующий эксперимент.

На удалении 100 м от мощного вибрационного источника (ЦВ-100) был установлен автономный сейсмический регистратор Байкал-10 с подключенным сейсмическим датчиком СВ-10. Запись сигнала осуществлялась с частотой дискретизации 500 Гц непрерывно в течение 12 ч: до начала работы вибратора, в течение сеансов воздействия, промежутков между ними и после окончания работы.

Источник колебаний включался три раза, в режиме монохроматического излучения, сеансы продолжались по 20 мин. График включений приведен в таблице.

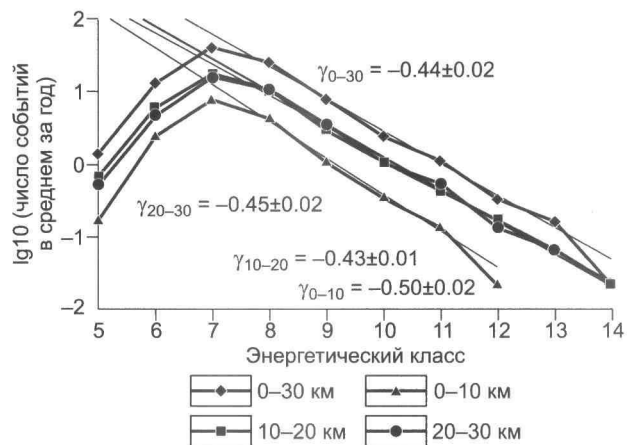


Рис. 4. Графики повторяемости, построенные на статистических данных по Байкалу.

Таблица

№ включения	Частота, Гц	Время старта, GMT	Период работы, мин
1	9.5	22:00	20
2	9.5	01:20	20
3	10.5	04:40	20

На рис. 5 изображен фрагмент зависимости амплитудного спектра регистрируемого сигнала от времени в скользящем десятисекундном окне с шагом 10 с. Рисунок иллюстрирует процесс выхода вибратора на режим монохроматического излучения в период с 21:58 до 22:00 ч, работу в этом режиме (четко видны гармоники основного сигнала) и выключение в период с 22:18 до 22:20 ч.

Для анализа полученной сейсмической записи амплитудные спектры были просуммированы в интервалах разбиения по 5 Гц с целью оценки интегрального выделения энергии в различных частотных диапазонах. Графики суммарных амплитуд в полосах 15—45 Гц приведены на рис. 6.

Далее были выбраны четыре интервала суммирования по времени: продолжительность каждого составила 1 ч, т.е. по 360 точек на графике, контрольный интервал взят в промежутке времени до начала работы вибратора, оставшиеся три — после каждого включения. Шаг между интервалами составил 2 ч.

Таким образом, мы получили четыре набора точек, каждый из которых содержит семь значений просуммированных амплитуд, им можем сопоставить следующий физический смысл. Соотнесем каждый частотный интервал с условным энергетическим классом событий — это будет вполне обоснованно с учетом повышенной скорости затухания сейсмических волн высокой частоты. Аналогично, взяв десятичный логарифм от интегральной выделенной энергии (по частоте и по времени) мы перейдем к терминам закона повторяемости сейсмических событий. На рис. 7 приведены условные графики повторяемости, на которых значения в герцах соотносятся со значениями в энергетических классах (по оси X), а значения десятичного логарифма от суммарной условной энергии — со значениями десятичного логарифма от числа событий (по оси Y).

Линейно аппроксимировав полученные наборы значений, можно отметить, что по сравнению с углом наклона прямой в контрольном наборе данных до начала эксперимента, углы наклона прямых после воздействий последовательно растут, что в физическом смысле означает насыщение грунта энергией и снятие накопленных напряжений через более низкий частотный диапазон.

Приведенный пример призван служить доказательством выдвинутой гипотезы о разгружающем эффекте мощных воздействий на близких расстояниях в районе эксперимента.

Это хорошо согласуется с предыдущими исследованиями, в которых показано, что «...провибрировав напряженную зону, можно на некоторый период снять характерный и установившийся ход высвобождения деформаций, а при постоянном действии высокоамплитудного вибратора, плотность излучения энергии которого будет превышать внешние случайные механические воздействия, можно добиться предотвращения до некоторого амплитудного уровня скачкообразного высвобождения энергии» [Мирзоев, Негматулаев, 1983, с. 371].

В качестве общего заключения к данной статье хотелось бы сказать следующее.

Безусловно, активная человеческая деятельность имеет тесную взаимосвязь с происходящими в Земле сейсмическими процессами. На рассмотренных примерах можно убедиться, что эта взаимосвязь наиболее проявляется в периоды непосредственного воздействия взрывными и вибрационными метода-

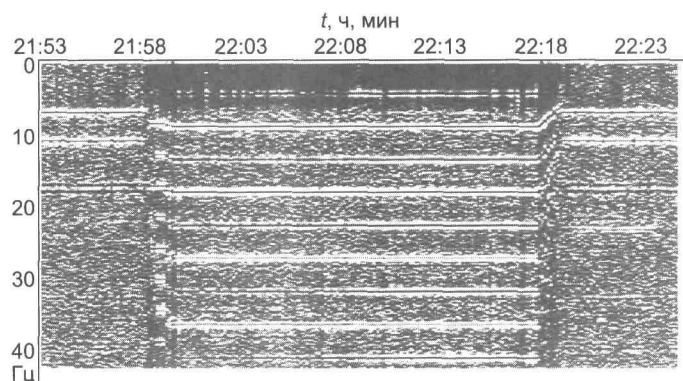


Рис. 5. Окно скользящих спектров при монохроматическом излучении.

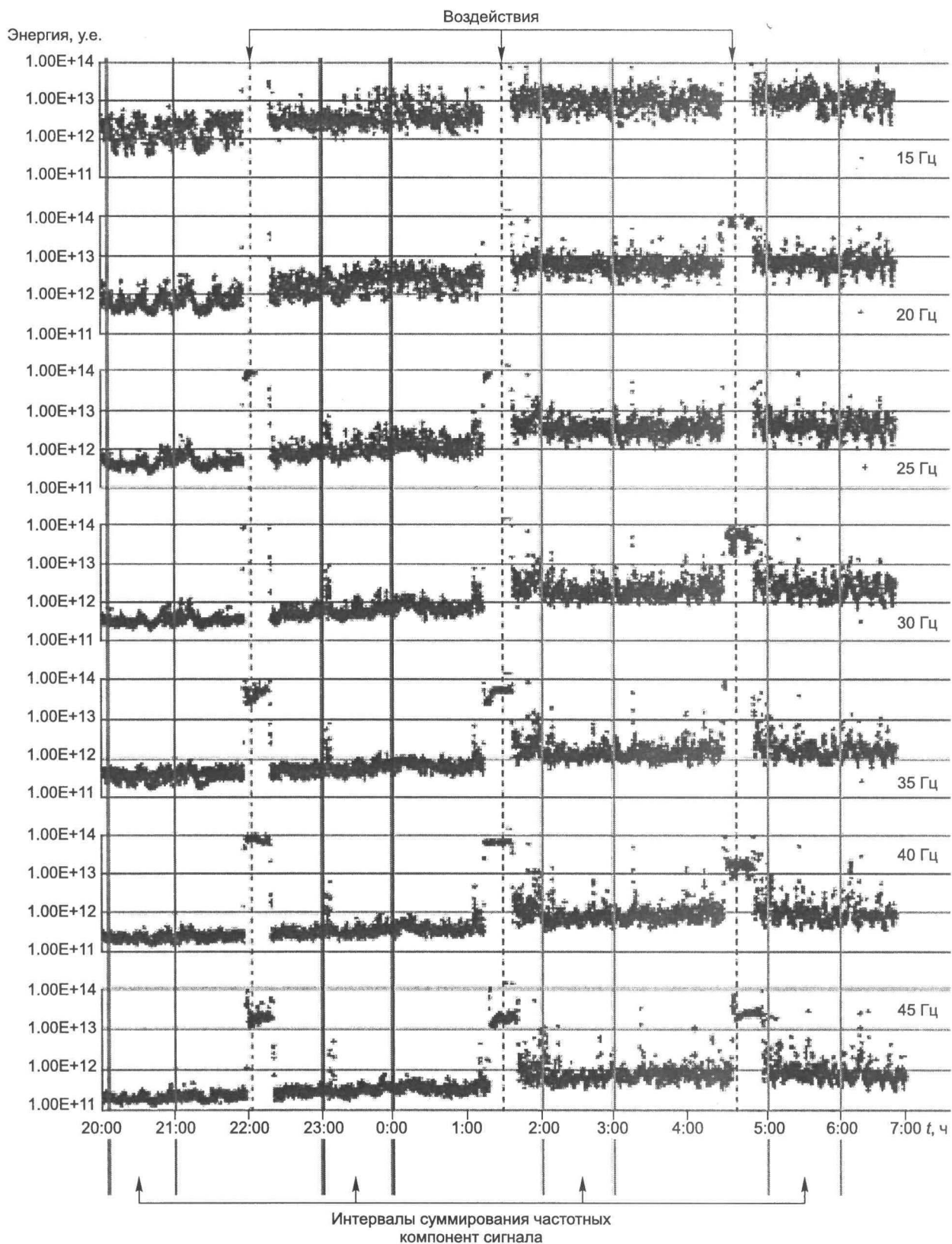
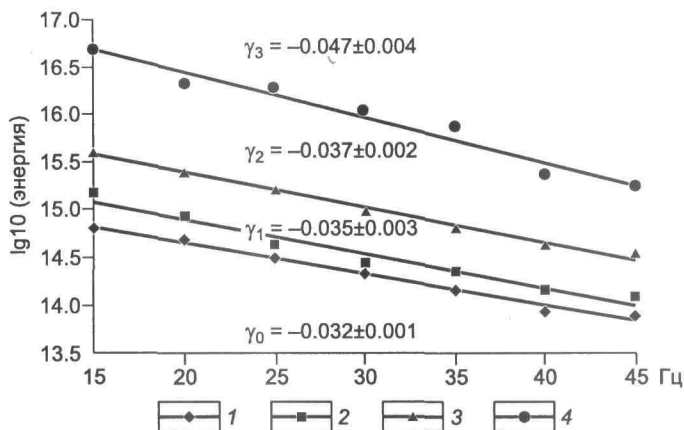


Рис. 6. Изменение выделенной энергии во времени в различных полосах частот.

Рис. 7. Условные графики повторяемости для эксперимента с мощным вибратором.

1 — до работы, 2 — 1-е включение, 3 — 2-е включение, 4 — 3-е включение.

ми достаточной мощности. Является ли снижение вероятности возникновения сильных сейсмических событий локальным и кратковременным, не последует ли вследствие прекращения регулярных нагрузок обратный всплеск активности — эти важные вопросы следует учесть при дальнейшем изучении поставленной задачи.



ЛИТЕРАТУРА

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В. и др. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика, 2009, № 1, с. 37—43.

Климанова В.Г., Батугин А.С. О влиянии техногенной сейсмичности на окружающую среду и техносферу // Неделя горняка, 2003, № 7, с. 183—187

Ключевский А.В., Демьянович В.М., Баяр Г. Оценка рекуррентных интервалов и вероятности сильных землетрясений в Байкальском регионе и Монголии // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (7), с. 746—762.

Кондратьев О.К., Люкэ Е.И. Наведенная сейсмичность. Реалии и мифы // Физика Земли, 2007, № 9, с. 31—47.

Ловчиков А.В. Контроль техногенной сейсмичности и горно-тектонических ударов в массиве Ловозерского редкометалльного месторождения. Апатиты, Изд-во КНЦ РАН, 2005, 200 с.

Мирзоев К.М., Негматулаев С.Х. Влияние механических вибраций на выделение сейсмических энергий // Прогноз землетрясений, 1983, № 4, с. 365—372.

Рекомендована к печати 9 ноября 2010 г.
М.И. Эповым

Поступила в редакцию
23 июля 2010 г.