

Гриб Галина Владиславовна

**Изменение состояния массива горных пород вследствие сейсмического
воздействия промышленных взрывов
(На примере разреза «Нерюнгринский»)**

Специальность:

25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика,
маркшейдерское дело и геометрия недр (геолого-минералогические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск 2013

Работа выполнена в Техническом институте (филиале) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова» в г. Нерюнгри

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор, действительный член АН РС (Я),
лауреат Государственной премии РФ
Имаев Валерий Сулейманович

Официальные оппоненты: **Рогожин Евгений Александрович**
доктор геолого-минералогических наук,
профессор, заместитель директора по
научной работе ИФЗ РАН

Герман Виктор Иванович
кандидат технических наук, главный сейсмолог,
ГПКК «Красноярский научно-исследовательский
институт геологии и минерального сырья

Ведущая организация: Институт горного дела ДВО РАН г. Хабаровск

Защита состоится // 28 // ноября // 2013г. в 15 час. на заседании диссертационного совета Д 212.269.12 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634004 г. Томск, пр. Ленина, 30 (корпус 20, ауд. 504).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Автореферат разослан // 14 // октября 2013г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.269.12 доктор геолого-минералогических
наук, профессор

А.А. Поцелуев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Интенсивное использование взрывной технологии при разработке Нерюнгринского угольного месторождения, когда используются заряды взрывчатого вещества большой массы (от 300 до 1400 тонн), определяет значительный вклад массовых взрывов в сейсмичность Южно-Якутского региона. При этом существенно повышается локальная сейсмичность, что ставит проблему массовых взрывов на одно из первых мест при оценке свойств и состояния массива горных пород при развитии горных работ на территории Южной Якутии и определяет объективную необходимость проведения детального анализа эффектов массовых взрывов с целью изучения свойств и состояния массива горных пород вследствие влияния горнодобывающего производства на геологическую среду. В связи с высокой природной сейсмичностью и близостью промышленной зоны к г. Нерюнгри, горные работы могут в значительной степени влиять на состояние горного массива. Практическая значимость решения обозначенных проблем для развивающегося Южно-Якутского региона чрезвычайно высока. Поэтому исследования, направленные на оценку последствий сейсмических воздействий от массовых взрывов, проводимых в разрезе «Нерюнгринский», на верхнюю оболочку земной коры весьма актуальны.

Работа выполнялась по научному направлению лаборатории «Мониторинга и прогноза сейсмических событий» Технического института (филиала) СВФУ в рамках фундаментальных исследований по темам: «Построение геолого-геофизических моделей прогноза состояния и поведения массива горных пород при технологических воздействиях» №38.63.51; 38.65.17 (2003-2004 г.г.), «Исследование закономерностей сеймотектонических процессов в зонах возникновения очагов землетрясений, прогнозирование периодов и областей повышенной сейсмической опасности на изучаемой территории» №37.31.19,37.01.77,38.19.00. (2011- 2014), а также по хоздоговорам с ОАО ХК «Якутуголь» - «Разработка методики расчёта сейсмического воздействия на охраняемые объекты при производстве взрывных работ», «Мониторинг сейсмического воздействия промышленных взрывов на особо охраняемые объекты ОАО ХК «Якутуголь» (2006 - 2008 г.г.), «Исследование геофизических предвестников землетрясений для прогноза сейсмически опасных районов Южной Якутии» (2008 – 2012 г.г.). Хоздоговор с ООО «Востокнефтепровод» «Исследование геофизических предвестников землетрясений и прогнозирование сейсмически опасных районов по ТС ВСТО в радиусе 500 км от г. Нерюнгри».

Целью настоящих исследований явилось выявление закономерностей формирования и изменения свойств и состояния массива горных пород вследствие сейсмического воздействия от промышленных взрывов на верхнюю оболочку земной коры.

Объект исследований: опасные природные и техно-природные процессы, возникающие в геологической среде, инициируемые сейсмическим воздействием промышленных взрывов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

- выполнить анализ изученности и проблемы последствий сейсмического воздействия промышленных взрывов на состояние массива горных пород и природно-технических объектов;
- установить качественные и количественные воздействия сейсмических волн от промышленных взрывов на локальные участки геологической среды;
- изучить пространственные, временные и энергетические изменения локальной сейсмичности в Южно-Якутском регионе вследствие техногенной нагрузки на геологическую среду;
- оценить степень сейсмического воздействия массовых взрывов на природно-технические системы, находящиеся в зоне ведения взрывных работ разреза «Нерюнгринский».

Фактический материал и методы исследований. В основу работы положены результаты инструментальных наблюдений за природной и техногенной сейсмичностью выполняемые автором более 10 лет в Южно-Якутском регионе. Каталоги взрывов и местных землетрясений, составленных по результатам количественной обработки инструментальных наблюдений. Результаты сейсмоэлектромагнитных наблюдений в Южно-Якутском регионе. Параметры буровзрывных работ в разрезе «Нерюнгринский».

При выполнении работы использовались методы: анализа и обобщения известных результатов исследований, проведения инструментальных экспериментов, обработки экспериментальных данных, регрессионно-корреляционного анализа и математической статистики, вычислительной математики и математического моделирования.

Защищаемые положения:

- Импульсные нагрузки от промышленных взрывов на геологическую среду вызывают повышение сейсмической активности в ближней зоне технологической площадки, причем эпицентры техногенных низкоэнергетических землетрясений, следующие за произведенным взрывом, либо приурочены к пункту взрыва, либо располагаются северо-западнее вдоль тектонических структур, пересекающих карьерное поле.

- Периодические динамические воздействия на верхнюю часть земной коры меняют режим локальной природной сейсмичности в виде подновления тектонических структур и формирования новых локальных нарушений земной коры, перераспределяют энергетiku очагов землетрясений, что проявляется в динамике сейсмоэлектромагнитных явлений.

- Основной характеристикой оценки сейсмического воздействия взрывной волны, способной вызвать повреждения природно-технических сооружений, является максимальное значение векторной скорости перемещения грунта при массовых взрывах в разрезе «Нерюнгринский», которая не должна превышать допустимую векторную скорость для исследуемых объектов ($V_{хуздоп} = 1,25 \text{ см/с}$).

Личный вклад автора. За период исследований автором работы обработано достаточно большое количество сейсмограмм, результаты обработки которых позволили:

- Провести количественную оценку зарегистрированных, в Южно-Якутском регионе, природных и техногенных сейсмических событий;
- Установить корреляционную связь между объемом взорванной горной массы и количеством техногенных землетрясений на разрезе «Нерюнгринский»;
- Выявить пространственные и временные изменения локальной природной сейсмичности вследствие импульсных динамических нагрузок от промышленных взрывов на геологическую среду;

Оценить степень негативного воздействия сейсмических эффектов от массовых взрывов разреза «Нерюнгринский» на природно-технические системы, расположенные в зоне влияния взрывных работ.

Научная новизна:

- Впервые в Якутии выявлено проявление техногенной сейсмичности при воздействии промышленных взрывов на верхнюю оболочку земной коры;
- Установлено, что эпицентры землетрясений приурочены к тектоническим структурам северо-западного простирания находящимся в пределах карьерного поля «Нерюнгринского» разреза;
- Впервые для Олекмо-Станового сейсмического пояса установлено изменение режима локальной природной сейсмичности вследствие воздействия сейсмических эффектов от взрывов на геологическую среду;
- Воздействие техногенной сейсмичности на верхние слои земной коры приводят к пространственному перераспределению очагов малоэнергетических ($K < 7$) землетрясений;
- Установлено, что динамическая нагрузка от взрывов на верхние слои земной коры вызывает изменение естественного импульсного электромагнитного излучения.
- Впервые экспериментально оценен уровень неблагоприятного воздействия сейсмозрывных волн на природно-технические объекты, находящиеся в зоне влияния взрывных работ, проводимых на разрезе «Нерюнгринский».

Достоверность научных результатов основывается на использовании современных цифровых высокочувствительных, широкополосных сейсмологических станций отечественного и зарубежного производства. Пакетов прикладных программ для обработки первичной сейсмологической информации. Большим объемом инструментальных и камеральных работ. Высоким коэффициентом корреляции между количеством землетрясений и объемом взорванной горной массы, который составил 0,82 при доверительном интервале 95%, а также соответствии с результатами полученными исследователями в данной области исследований в других регионах.

Практическая значимость. Выявленные закономерности проявления техногенной сейсмичности и изменение режима локальной природной сейсмичности

вследствие воздействия сейсмических эффектов от взрывов на геологическую среду могут быть использованы при геоэкологическом обосновании природоохранных мероприятий в процессе добычи полезных ископаемых с применением буровзрывных методов. Полученные в работе зависимости позволяют оценивать уровень негативного влияния массовых взрывов на природно-технические объекты, находящиеся в зоне влияния взрывных работ, проводимых на разрезе «Нерюнгринский».

Апробация работы. Основные результаты полученные автором докладывались на конференциях от региональных до международных уровней: «Проблемы сейсмологии III – го тысячелетия» Международная геофизическая конференция, (Новосибирск, 2003); «Пути решения актуальных проблем добычи и переработки полезных ископаемых Южной Якутии» Республиканская научно-практическая конференция, (Нерюнгри, 2004); «Сейсмичность Южно-Якутского региона и прилегающих территорий» Всероссийская научно-практическая конференция, (Нерюнгри, 2005); I, II, IV, VI, VII Международных сейсмологических школах «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных», (Санкт-Петербург, 2006; Пермь, 2007; Иркутск-Листвянка, 2009; Апатиты, 2011; Беларусь – Нароч, 2012); Международная научно-практическая конференция «Тюмень - 2009»; VI общероссийская научная конференция «Перспективы развития вузовской науки», (Сочи, 2010); X Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», (Москва, 2011); IV Всероссийская научная конференция «Проблемы комплексного освоения георесурсов», (Хабаровск, 2011).

Публикации. Основные результаты и научные положения диссертации опубликованы в 22 статьях и тезисах докладов, из них 3 статьи в рецензируемых научных журналах по перечню ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем 122 страницы, включая 7 таблиц, 42 рисунка и список литературы из 121 наименования.

Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору В.С. Имаеву за оказанную помощь и поддержку при выполнении диссертационной работы. Автор признателен и благодарит доктора геолого-минералогических наук, профессора Трофименко С.В., кандидатов технических наук Сясько А.А., Пазынич А.Ю. Сотрудники лаборатории «Мониторинга и прогноза сейсмических событий» А.А. Качаева, Ю.А. Струева, В.И. Трунова за оказанную практическую помощь на разных стадиях работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, приведены научная новизна и практическая значимость работы, а также положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ литературных данных о масштабах и последствиях воздействия буровзрывных работ на массив горных пород и природно-технические системы. Рассмотрены факторы, которые влияют на геоэкологическое равновесие при техногенном воздействии на верхние слои земной коры.

Во второй главе рассмотрена классификация техногенной сейсмичности, рассмотрены закономерности и факторы, влияющие на интенсивность проявления техногенных землетрясений, их пространственная локализация, моделирование техногенной сейсмичности при производстве взрывов в разрезе «Нерюнгринский», статистика техногенных землетрясений в Южной Якутии.

Третья глава посвящена исследованию вопросов, связанных с оценкой степени влияния промышленных взрывов на уровень сейсмичности в Южно-Якутском регионе вследствие активного вмешательства в динамику естественного сейсмического процесса, вызванного техногенным воздействием на верхнюю оболочку земной коры, геофизическому мониторингу геодинамических процессов, протекающих в массиве горных пород.

Четвертая глава посвящена оценке степени опасности сейсмических эффектов, от промышленных взрывов, проводимых в разрезе «Нерюнгринский», на природно-технические сооружения ООО «Лена Газ», находящиеся в зоне взрывных работ.

В заключении обобщены основные результаты, полученные в работе, сформулированы выводы и рекомендации.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Импульсные нагрузки от промышленных взрывов на геологическую среду вызывают повышение сейсмической активности в ближней зоне технологической площадки, причем эпицентры техногенных низкоэнергетических землетрясений, следующие за произведенным взрывом, либо приурочены к пункту взрыва, либо располагаются северо-западнее вдоль тектонических структур, пересекающих карьерное поле.

Периодические импульсные нагрузки на среду при производстве массовых взрывов оказывают прямое и косвенное воздействие на верхнюю часть земной коры. Прямое воздействие осуществляется за счет непосредственного влияния нелинейных смещений, вызванных взрывной волной и образования новых нарушений. Косвенные воздействия - за счет активизации структурных элементов на геологических контактах.

Проявления техногенной сейсмичности анализировались по результатам сейсмологического мониторинга за период с 1 января 2002 года по 31 июля 2012 года. При сопоставлении сейсмологических данных с объемом взорванной горной массы установлена следующая закономерность: с увеличением объема взорванной горной массы увеличивается количество ближних землетрясений (рис.1). Анализ выполнялся суммарно: объем взорванной горной массы за месяц сопоставлялся с количеством ближних землетрясений за месяц. В выборку были включены ближние землетрясения, с разницей прихода продольной (P) и поперечной (S) упругих волн до 6 секунд (в

радиусе до 50 км от зоны ведения взрывных работ) и произошедшие не позднее 10 часов после массового взрыва и объемом взорванной горной массы за указанный период.

Коэффициент корреляции между количеством землетрясений в месяц и объемом взорванной горной массы в месяц составил 0,82 при доверительном интервале 95%.

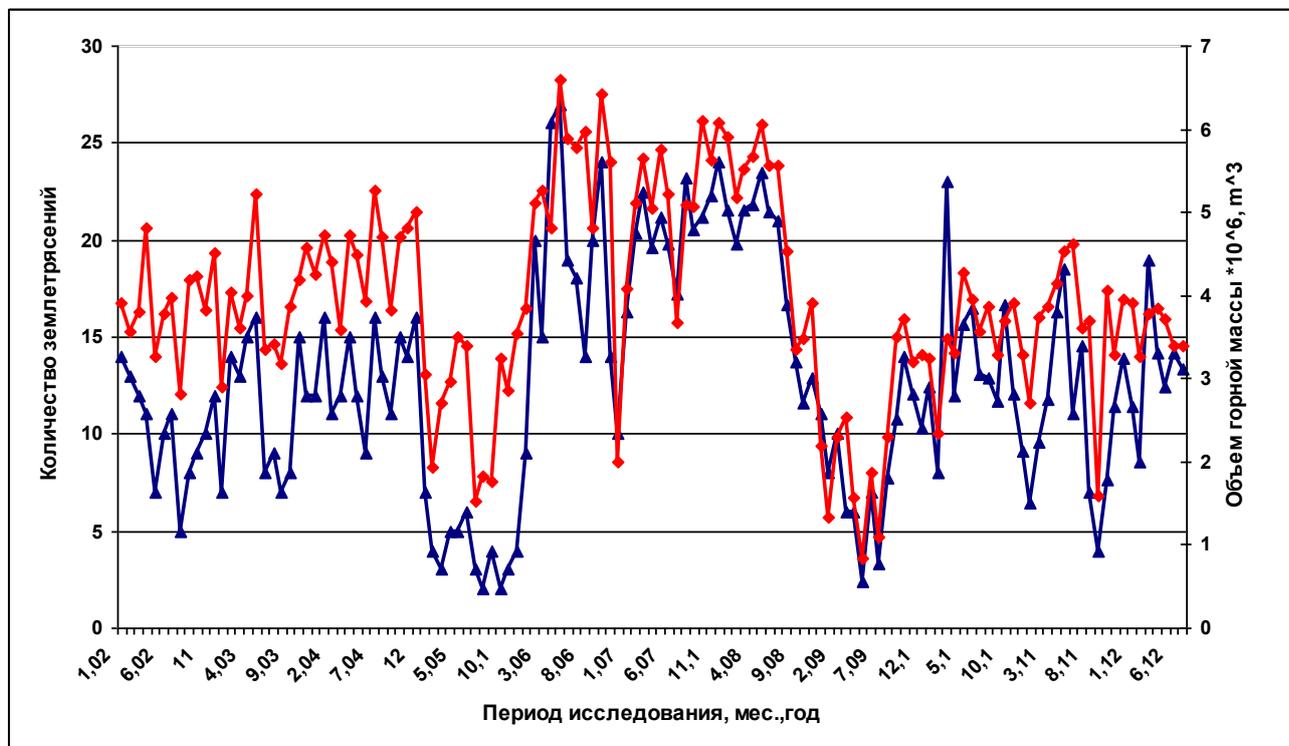


Рис. 1. Графики изменения объема взрывааемой массы и количества близких землетрясений в месяц, за период 1.01.02 - 31.07.12 г.

— объем взрывааемой массы — количество землетрясений

Для оценки степени влияния горных работ, проводимых в разрезе «Нерюнгринский», на индуцированную сейсмичность в ближней зоне ($1^0 \times 1^0$) был произведен расчет высвобожденной энергии по годам. Среднее значение энергии с 1979 по 2005 гг. находится в пределах от $K=9$ до $K=10$ {Дж}. В период 1989-90 г.г., а также с 2003 г. отмечается пик высвобожденной энергии более $K=11$ {Дж}. Такой результат может свидетельствовать о том, что буровзрывные работы оказывают влияние на общий энергетический баланс сеймотектонического процесса, так как в этот же период, на разрезе «Нерюнгринский» производится максимальный объем вскрышных и добычных работ.

На рисунке 2 вынесены координаты эпицентров землетрясений относительно координат Нерюнгринской сейсмологической станции (НСС), по которым можно заключить, что эпицентры землетрясений группируются вдоль линий северо-западного простирания. Таким образом, в 20-ти – 25-ти километровой зоне от НСС, расположение эпицентров землетрясений в плоскости сохраняет преимущественное распределение в

течение 4-х лет мониторинговых исследований. В данном случае можно говорить о локальной тектонической активизированной структуре.

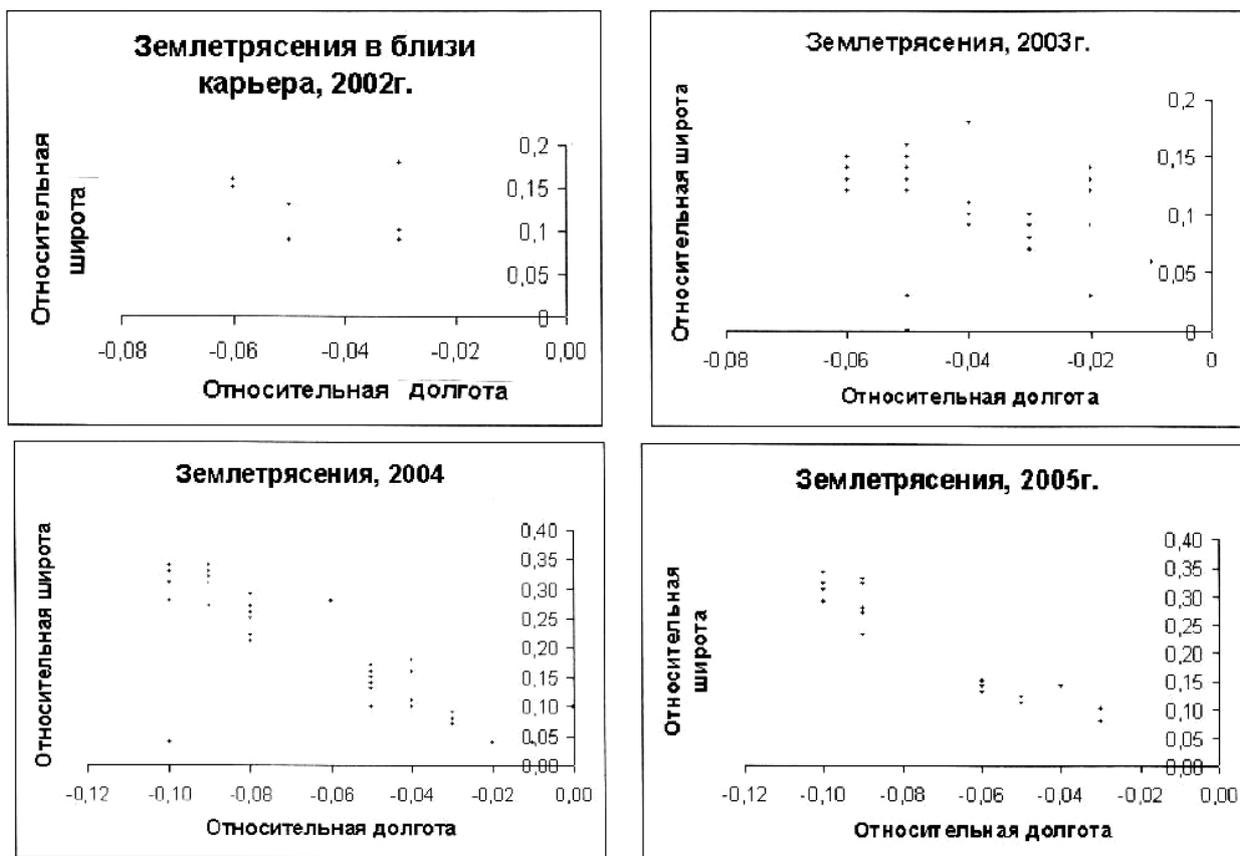


Рис. 2. Землетрясения вблизи карьера в 2002г. - 2005гг. По данным НСС

Причина активизации локального разлома становится ясной при сопоставлении очагов землетрясений с пространственным распределением взрывов, которое проиллюстрировано на рис. 3. Качественное сопоставление эпицентров землетрясений и взрывов показывает неразличимость их в пределах изменения долготы от $-0,02$ до $-0,06$, т. е. в пределах карьерного поля Нерюнгринского месторождения. Количественное сопоставление по результатам за 2004г. показало, что из 80 зарегистрированных сейсмических событий 35 произошли сразу, или через несколько часов после взрыва.

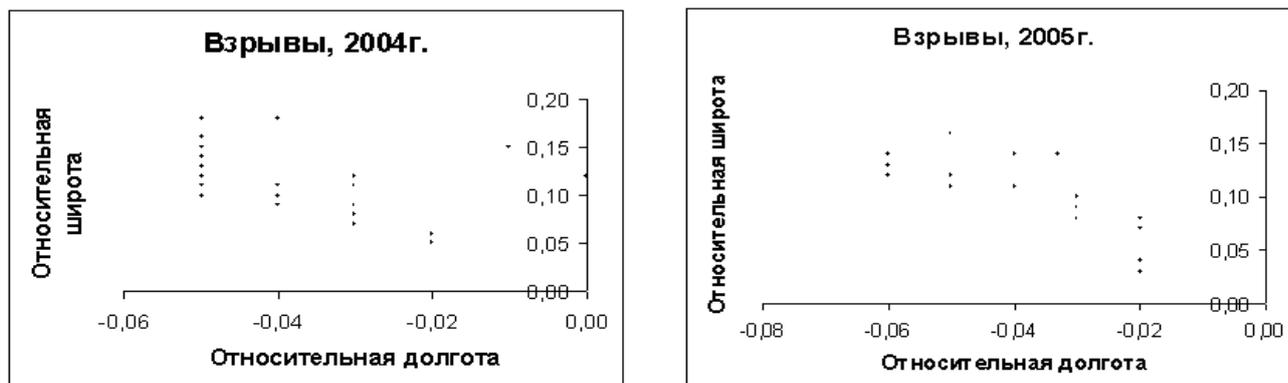


Рис. 3. Взрывы на карьере «Нерюнгринский» в 2004.- 2005гг.

Очаги землетрясений либо приурочены к пункту взрыва, либо располагаются северо-западнее вдоль выявленной структуры. Следовательно, активное воздействие на геологическую среду вызывает сейсмический отклик в виде изменения уровня сейсмической активности - формируя новые, либо активизируя уже заложенные ранее структуры. Под воздействием массовых взрывов происходит изменение количества сейсмических событий и изменение среднего уровня высвобожденной энергии.

Статистическими исследованиями показано, что первый максимум частоты распределения взрывов по часам в течение суток (рис. 4, а) находится в интервале от 3 до 4-х часов, второй – приходится на 7 часов (UT), что соответствует регламенту производства взрывов. Этим максимумам соответствуют два максимума количества низкоэнергетических землетрясений (рис. 4, б) по данным Нерюнгринской сейсмостанции (НСС). По каталогу ГС РАН с учетом землетрясений с энергией 10^8 Дж также выделяются максимумы в 4 и в 7 часов (рис. 4, в). Для западной части рассматриваемого участка (рис. 4, г), сейсмичность которого контролируется разломами субширотного простирания (рис.5), характерно равномерное распределение количества землетрясений. Это может означать, что техногенному воздействию подвержены активные структуры скрещивающихся систем разломов.

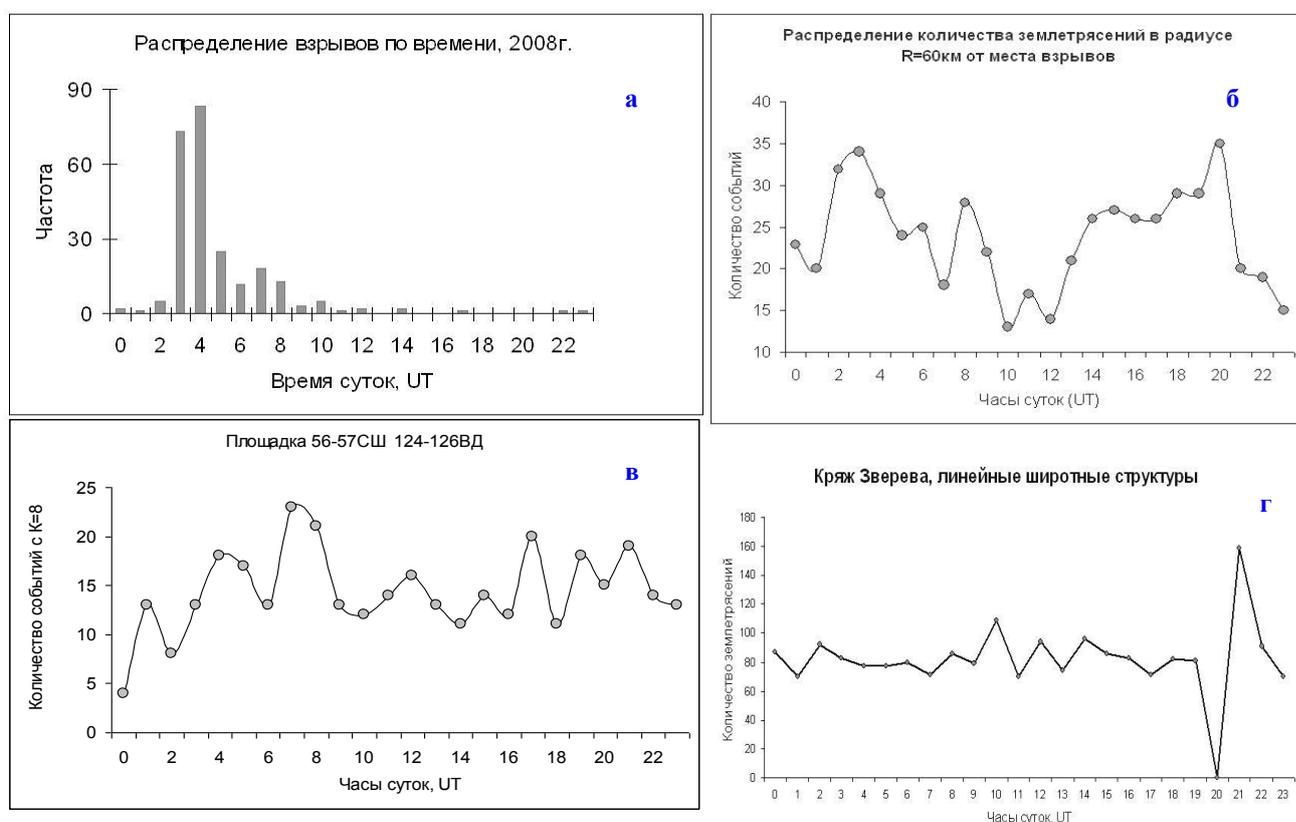


Рис.4. Графики распределения по часам (UT) количества землетрясений и взрывов в течение суток

а – статистика распределения взрывов по времени; б – распределение землетрясений по часам по данным Нерюнгринской сейсмостанции в радиусе 50 км от НУР; в – распределение землетрясений

по часам по данным из каталога ГС РАН; г – распределение землетрясений по часам по данным из каталога ГС РАН кряжа Зверева

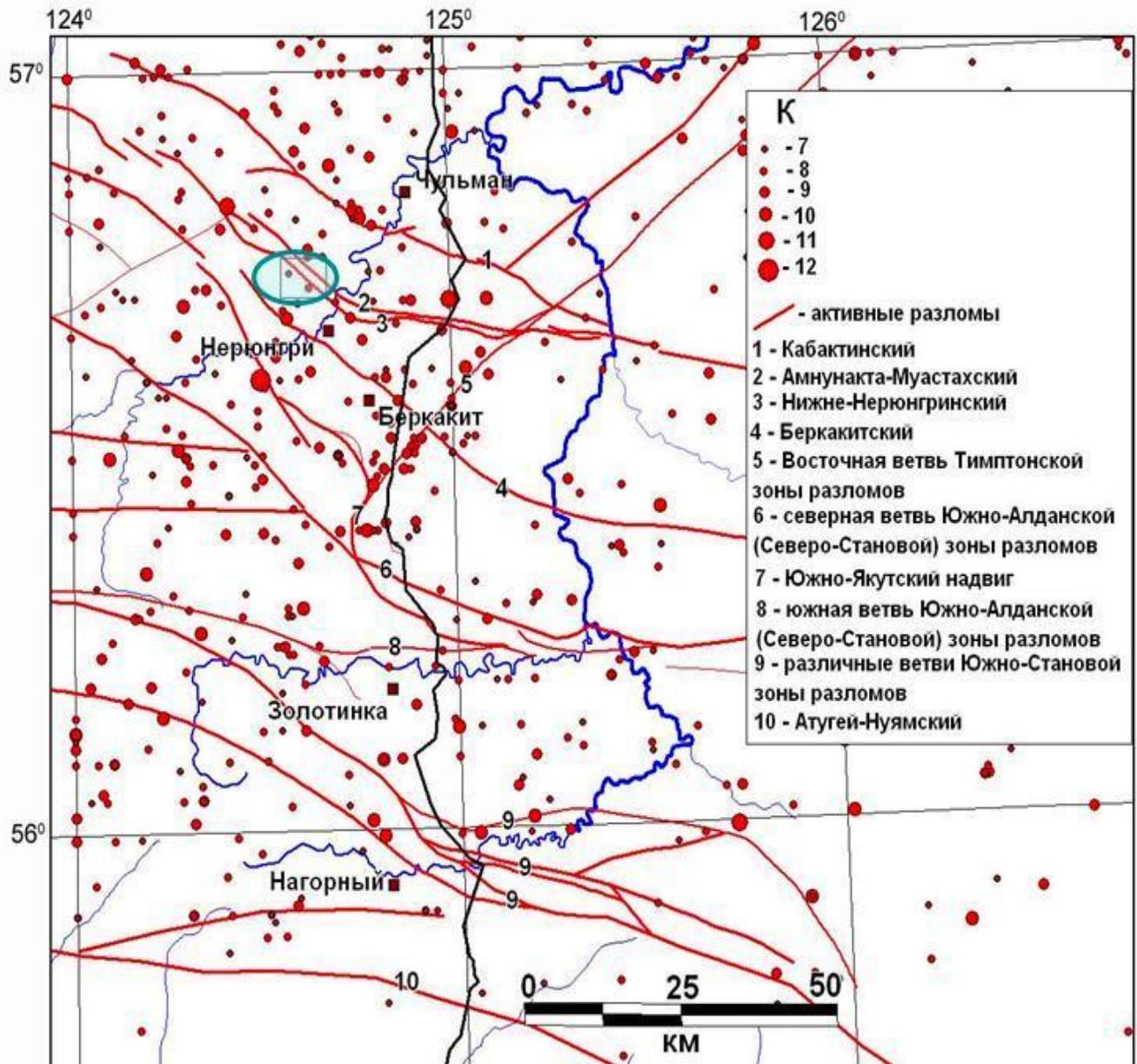


Рис. 5. Карта-схема распределения эпицентров землетрясений и активные разломы Южной Якутии [по Овсяченко А.Н. и др.,2010]

2. Периодические динамические воздействия на верхнюю часть земной коры меняют режим локальной природной сейсмичности в виде подновления тектонических структур и формирования новых локальных нарушений земной коры, перераспределяют энергетику очагов землетрясений, что проявляется в динамике сейсмoeлектромагнитных явлений.

Карьерное поле разреза пересекается двумя сопряженными активизированными разломами: Аммунакта-Муастахским и Нижне-Нерюнгринским. Участок между Беркакитским и Нижне-Нерюнгринским разломами представлен практически асейсмичной структурой (рис. 5). За время инструментальных наблюдений на

изучаемой территории было зарегистрировано 478 сейсмических событий, из них одно землетрясение 12-го и 3 землетрясения 11-го энергетических классов.

Исследования закономерностей наведенной и природной сейсмичности в зоне открытых горных работ устанавливались на материалах 5-ти летних мониторинговых наблюдений Нерюнгринской сейсмостанции (НСС). С 2002 по 2007 гг. За указанный период было произведено более 500 взрывов, зарегистрированных на станции в виде сейсмических событий в среднем 6-го энергетического класса.

Анализ по результатам мониторинга за 2002-2007г. показал, что из 135 (общее количество 211) зарегистрированных землетрясений в ближней зоне 103 (165 в градусном квадрате) произошли в течение суток после взрывов, причем вблизи технологической площадки зарегистрировано 46 событий. Техногенное воздействие на среду трансформировалось в самостоятельный локальный сейсмический процесс. Иными словами, под действием массовых взрывов инициировался локальный поток сейсмических событий, не коррелированный с моментами взрывов. Пространственное распределение взрывов и землетрясений приведено на рисунке 6.

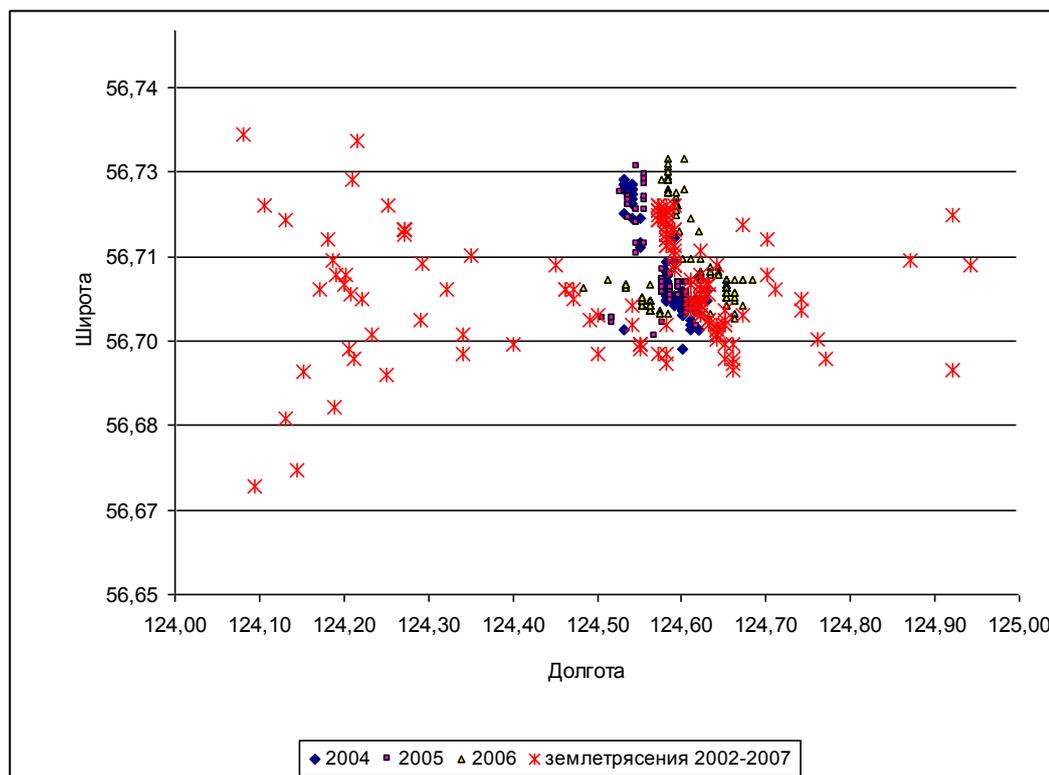


Рис.6. Пространственное распределение пунктов взрывов и эпицентров слабых землетрясений ($K < 7$) вблизи технологической площадки НУР

Это означает, что - либо появилась новая активная тектоническая структура, к которой приурочено 165 из 211 землетрясений (78%), произошедших в радиусе 50-ти км от Нерюнгринского разреза, либо активизировался локальный участок Аммунакта-Муастахского и Нижне-Нерюнгринского активных разломов (рис. 5). То-есть, сейсмический процесс, инициированный взрывными работами, на локальном уровне приобретает стационарный характер. Таким образом, малоэнергетические импульсные

нагрузки на геологическую среду привели к пространственному перераспределению очагов малоэнергетических ($K < 7$) землетрясений (рис. 6).

Из результатов выполненных исследований следует, что активное воздействие на среду вызывает сейсмический отклик в виде коррелированного изменения сейсмической активности. Под действием энергетических нагрузок на геологическую среду фрагментарно активизируются приповерхностные слои земной коры в зоне динамического влияния Аммунакта-Муастахского и Нижне-Нерюнгринского активных разломов (рис. 5).

Для оценки степени влияния технологических работ на природную сейсмичность в ближней зоне ($1^0 \times 1^0$) был произведен расчет высвобожденной энергии по годам и суммарной энергии землетрясений в виде накопленных разностей. Среднее значение энергии с 1962 по 2005 гг. по линейному тренду меняется от $E = 10^{10.2}$ до $E = 10^{9.8}$ Дж. Суммарная выделенная энергия по годам в период до ведения горных работ выше, т.е. произошло перераспределение энергии землетрясений в меньшую сторону (рис. 7). В целом данный график имеет вид линейной функции с постоянным углом наклона. Такой результат может свидетельствовать о том, что массовые взрывы не оказывали существенного влияния на общий энергетический баланс сеймотектонического процесса на энергетическом уровне 10^{12} Дж. На графике суммарной высвобожденной энергии землетрясений в виде накопленных разностей по годам землетрясения $K = 11, 12$ отмечаются скачками (рис. 8).

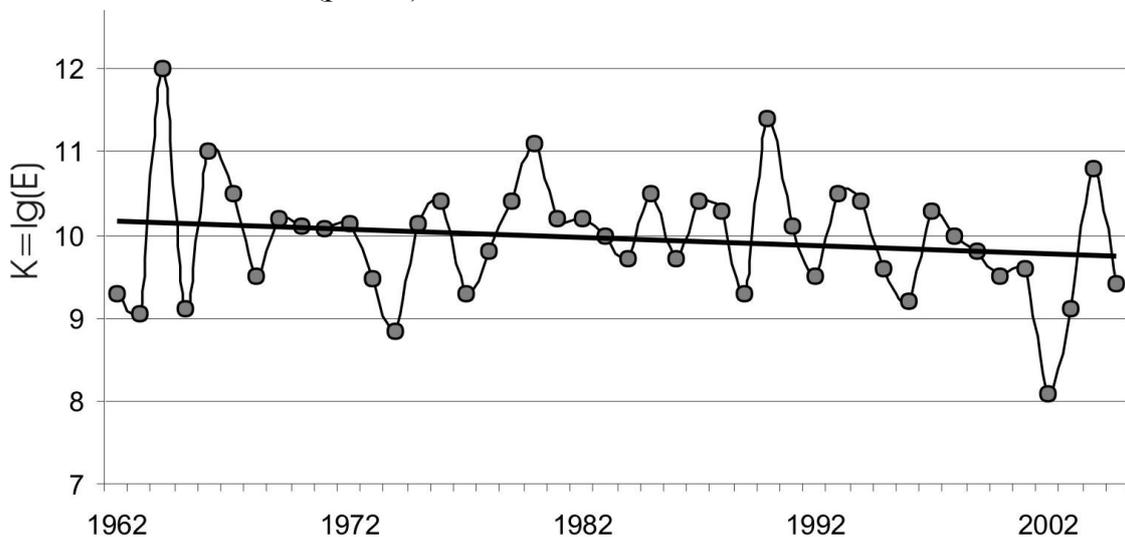


Рис. 7. Изменение суммарной энергии землетрясений в ближней зоне Нерюнгринского разреза

Геофизический мониторинг геологической среды – одно из основных направлений геодинамических исследований, который позволяет дистанционно отслеживать процессы в земной коре. На рис. 9 показаны результаты статистических построений в двух пунктах регистрации электромагнитных излучений (ЭМИ) «Нерюнгри» – «Иенгра».

Для семидневной статистики для обоих пунктов регистрации «Нерюнгри» и «Иенгра» характерно наличие максимума интенсивности в воскресенье. Причем для

пункта «Нерюнгри» данный эффект наблюдается только для «С-Ю» компоненты с двукратным превышением амплитуды.

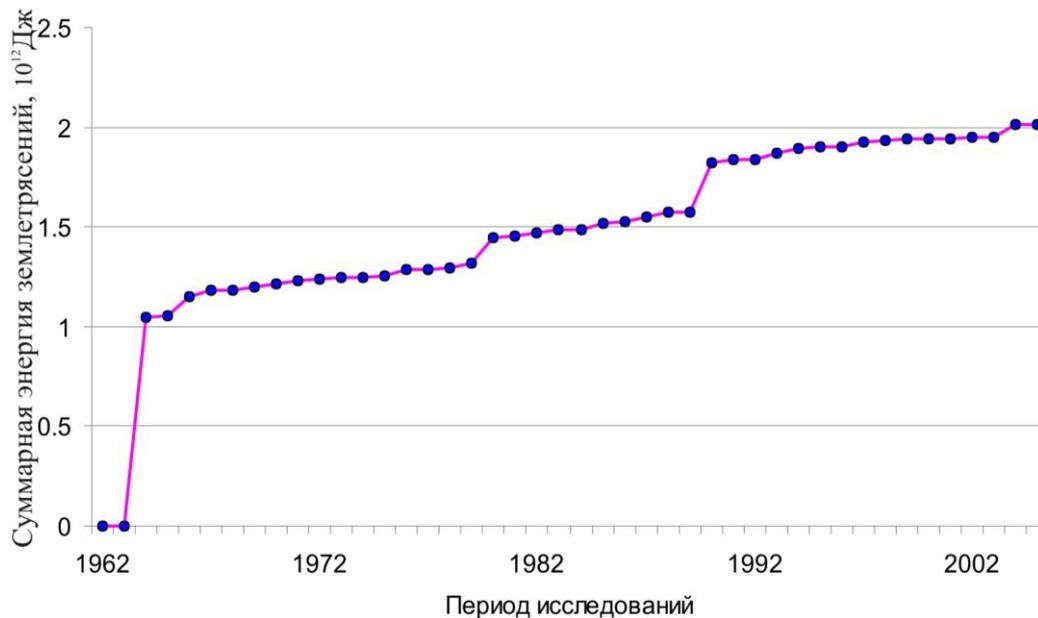


Рис. 8. Изменение суммарной высвобожденной энергии землетрясений в виде накопленных разностей по годам

Для пункта «Нерюнгри» изменение частоты появления импульсных ЭМИ представлено выпуклой функцией с минимумом активности от вторника до четверга. В пункте «Иенгра» на среду-четверг приходится максимум активности с наличием линейного тренда. Данные по двум пунктам не коррелированы ($K_{кор} < 0.2$), хотя максимум в воскресенье характерен для обоих пунктов регистрации. Причина характерного проявления статистики распределений аномалий ЭМИ, суммарный сигнал, может содержать эффект от ближних и дальних землетрясений за счет активизации поверхностных структур в зонах динамического влияния активизированных разломов при прохождении упругих волн.

Однако в данном случае, в стационарной фазе развития сейсмического процесса, следовало бы в предельном случае ожидать равномерное распределение импульсных аномалий для случая активизации субширотных тектонических структур, простирающихся западнее пунктов регистрации.

Например, для представленной статистики распределений «ЭМИ - сейсмичность» характерно в среднем противофазное распределение числа событий на семидневных реализациях. То-есть, увеличение числа взрывов и землетрясений в радиусе корреляции приводит к уменьшению числа выбросов (импульсов) ЭМИ в пункте «Нерюнгри». Для пункта «Иенгра» уменьшение числа взрывов в течение недели приводит к увеличению числа импульсов ЭМИ за счет некоррелируемой сейсмичности, т.к. пункт наблюдения «Иенгра» находится на удалении 80 км. от зоны ведения взрывных работ.

Для пункта «Нерюнгри» увеличение числа взрывов инициирует низкоэнергетическую сейсмичность и приводит к временной поверхностной

дезинтеграции блоков. Вследствие этого, уменьшается деформация, снижается динамика взаимодействия микроблоков и, как следствие, происходит уменьшение числа импульсов в тех же сеймотектонических условиях, что и находит отражение в изменении сейсмической активности в зоне влияния горных работ разреза «Нерюнгринский».

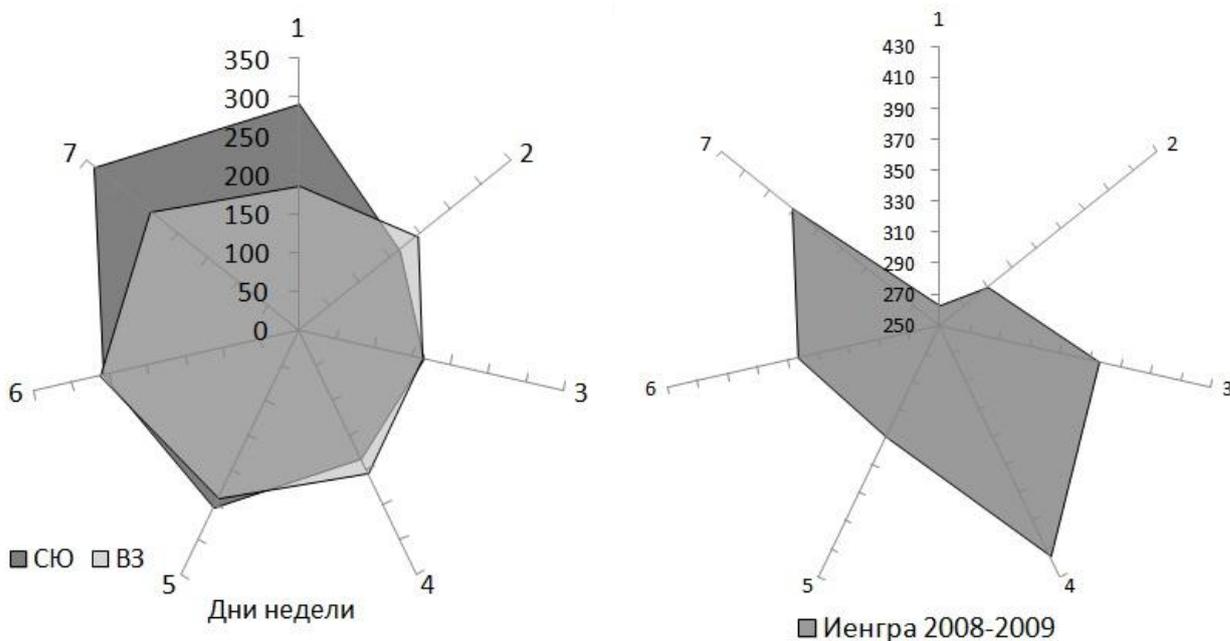


Рис. 9. Изменение частоты появления импульсной составляющей ЭМИ в течение недели в двух пунктах регистрации «Нерюнгри-Иенгра»

3. Основной характеристикой оценки сейсмического воздействия взрывной волны, способной вызвать повреждения природно-технических сооружений, является максимальное значение векторной скорости перемещения грунта при массовых взрывах в разрезе «Нерюнгринский», которая не должна превышать допустимую векторную скорость для исследуемых объектов ($V_{xyz}^{доп} = 1,25 \text{ см/с}$).

При рассмотрении кинематических элементов сейсмических волн объективное определение сейсмического эффекта наиболее точно и полно дает векторное значение скорости перемещений. Наибольшая результирующая скорость определяется с учетом компонент X, Y, Z:

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2}, \quad (1)$$

где – U_x , U_y , U_z - амплитуды скорости перемещений по компонентам X, Y, Z соответственно (рис. 10).

Максимальная результирующая скорость рассчитывалась по трем составляющим X, Y, Z максимумы которых, обычно, проявляются в различное время:

$$U_{xyz} = \left| \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \right|_{\max}, \quad (2)$$

Эта скорость, заменяющая \bar{U} , может быть равной или большей фактической векторной скорости, но разность обычно не превышает 20-30%.

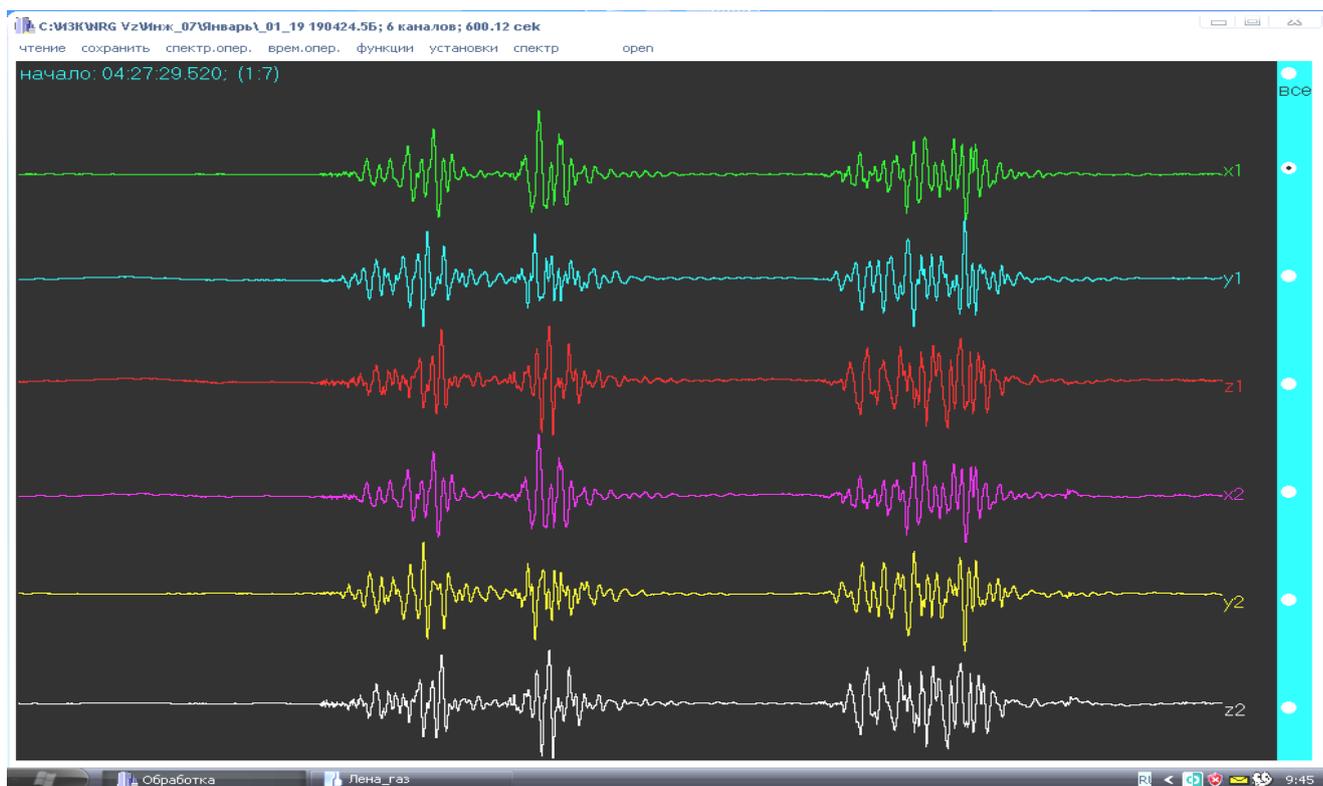


Рис. 10. Пример регистрации сейсмических колебаний от взрывов 19.01.07г.
 X_1, Y_1, Z_1 - колебания грунта в основании емкости
 X_2, Y_2, Z_2 - колебания конструкции емкости с газом

Поскольку максимальная мгновенная скорость наступает в разных составляющих не одновременно, векторная скорость не относится к какому-либо общему для всех составляющих моменту времени. В тоже время известно, что энергия по каждой составляющей пропорциональна квадрату максимальной скорости смещения на сейсмограмме, а полная энергия может быть получена суммированием энергий по отдельным составляющим. Это видно на примере (рис. 10), когда максимальная мгновенная скорость отмечается в поверхностных волнах релейского типа. В этом случае, из теории следует, что моменты наступления максимальных мгновенных скоростей U_x и U_z принципиально не могут совпадать по времени, так как по этим двум составляющим колебания сдвинуты по фазе на 90° . Когда по составляющей X наступает максимальная скорость, по составляющей Z она близка к нулю, и наоборот. Формула (2) таким образом, придает физический смысл векторной скорости, которую можно было бы назвать энергетической скоростью [Цейтлин и д.р., 1981].

Регистрация сейсмических волн от массовых взрывов, производимых в разрезе «Нерюнгринский», велась на объектах ООО «Лена Газ» как на грунте в основании фундамента сооружений, так и на здании компрессорной станции и емкостях с газом.

Здание компрессорной станции кирпичное, одноэтажное, фундамент бетонный, внутренние перегородки кирпичные, без антисейсмического усиления, здание без видимых повреждений.

Емкости с газом металлические, зарытые в землю, видимых повреждений и коррозии металла не наблюдалось.

Исследуемые объекты, согласно классификации [Гриб и др., 2007] относятся к III классу. Допустимые скорости колебаний грунта для сооружений данного класса составляют ≤ 5 см/с. Многократные взрывные воздействия повышают сейсмический эффект на 1-2 балла [Штейнберг В.В., 1997]. При многократном воздействии вследствие накопления деформаций, следует рекомендовать снижение допустимой скорости в 2-4 раза. Учитывая, что взрывные работы в разрезе «Нерюнгринский» ведутся более 20 лет, следует рекомендовать снижение допустимой скорости в 4 раза. То есть допустимую скорость колебаний грунта вокруг зарытой емкости следует принять равной 1,25 см/с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изложены результаты исследований природных и техно-природных процессов, возникающих в геологической среде в результате сейсмического воздействия промышленных взрывов на верхние оболочки земной коры, что является существенным вкладом в решении задачи мониторинга геологической среды и природно-технических объектов при разработке полезных ископаемых.

Основные выводы по результатам исследований заключаются в следующем:

1. Активное воздействие массовых взрывов на геологическую среду вызывает сейсмический отклик в виде изменения уровня сейсмической активности, связанных с активизацией уже заложенных ранее сейсмогенерирующих структур и формирования новых локальных нарушений земной коры.

2. Условия высвобождения энергии структурами земной коры при техногенных воздействиях зависят от геолого-тектонических характеристик конкретного массива и региона в целом.

3. Сотрясательное воздействие взрывных работ может рассматриваться как фактор, способствующий преобладанию асейсмических форм движения разломов в виде плавного (криппового) смещения их бортов, следовательно, воздействие взрывных работ способно не только активизировать разломы вокруг зоны ведения горных работ, но и оказывать определенное разгружающее воздействие на формирующиеся в недрах очаги сейсмической опасности, т.е. перераспределение энергии землетрясений в сторону снижения их энергетического класса.

4. Полученные наблюдения, в режиме непрерывного геофизического мониторинга, позволяют своевременно заметить опасные изменения сейсмического режима, свидетельствующие об усилении сейсмической активности.

5. Использование результатов сейсмологического и геофизического мониторинга позволит существенно повысить надежность прогнозирования опасного нарастания

сейсмической активности и своевременно разработать действенные рекомендации по уменьшению риска возникновения катастрофических техногенных землетрясений.

6. С учетом класса и характеристик охраняемых объектов определена допустимая скорость смещения грунта в основании природно-технических сооружений – $V_{\text{доп}} = 1.25 \text{ см/с}$

7. Максимальное значение скорости перемещений грунта при массовых взрывах составило $1,13 \text{ см/с}$, что не превышает допустимую скорость. По шкале балльности для взрывов это соответствует значению равную 3 баллам.

8. Собственные частоты колебаний природно-техногенного сооружения, емкости для хранения газа, в 1.5 – 2 раза ниже спектрального состава колебаний, возбуждаемых взрывами, что является благоприятным фактором из-за не возможности возникновения резонансных явлений.

9. Раскачка сооружений, определенная как отношение максимальных амплитуд колебаний верха емкости к максимальным амплитудам колебаний грунта, которая менее 1.5 раза и поэтому при выборе допустимой скорости ею можно пренебречь.

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Гриб Г.В. Сейсмическое воздействие массовых взрывов на объекты, находящиеся в зоне ведения взрывных работ разреза «Нерюнгринский» / Гриб Г.В., Гриб Н.Н. // Депозитарий издательства МГГУ. №823/04-11 от 04.02.2011. – 13 с.
2. Гриб Г.В. Сейсмомониторинговые исследования техногенного воздействия на геологическую среду / Гриб Н.Н., Г.В. Гриб. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 13 (39) №1(6), 2011. – С. 1319 – 1321.
3. Гриб Г.В. Зависимость сейсмического действия взрыва в массиве горных пород от технологических условий ведения буровзрывных работ. / Гриб Г.В., Пазынич А.Ю., Гриб Н.Н., Петров Е.Е. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Том 14, №1(8), 2012. – С. 2112 – 2117.

В других изданиях:

4. Гриб Г.В. Неприливные изменения силы тяжести в зонах влияния современных активизированных разломов / Гриб Н.Н., Трофименко С.В, Гриб Г.В. // Проблемы сейсмологии III – го тысячелетия: Материалы междунар. геофиз. конф., г. Новосибирск, 15 – 19 сент. 2003 г. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2003. С. 271 – 274.
5. Гриб Г.В. Проявления техногенной сейсмичности в Южной Якутии// Пути решения актуальных проблем добычи и переработки полезных ископаемых Южной Якутии: тезисы докладов участников II Республиканской научно-практической конференции / Гриб Н.Н., Гриб Г.В. // г. Нерюнгри, 19-21 октября. Издательство ЯГУ, 2004. С. 71-73.

6. Гриб Г.В. Динамика сейсмичности вследствие импульсных нагрузок на массив горных пород//«Сейсмичность Южно-Якутского региона и прилегающих территорий» Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-летию г. Нерюнгри, 24-27 октября 2005 г.- / Гриб Н.Н., Трофименко С.В, Гриб Г.В. // Якутск: Издательство Якутского ун-та, 2005. С. 177 - 183.
7. Гриб Г.В. Изучение влияния промышленных взрывов на сейсмический фон Южной Якутии//Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Международной сейсмологической школы. –/ Гриб Н.Н., С.В. Трофименко, Г.В. Гриб. // Обнинск: ГС РАН, 2006. – С.69 – 72.
8. Гриб Г.В. Методика расчета сейсмического воздействия на охраняемые объекты при производстве взрывных работ// Научная деятельность Якутского государственного университета имени М.К. Амосова за 2006 год: Информационно-статистический сборник/ Гриб Н.Н., В.М. Никитин, А.А. Сясько, Г.В. Гриб, А.В. Качаев, Е.Н. Черных. // Под ред. В.Ю. Фридовского, Р.А. Кузминой. Якутск: Изд-во Якутского ун-та, 2007. С.-26
9. Гриб Г.В. Экспериментальная оценка сейсмического действия массовых взрывов в разрезе «Нерюнгринский» на охраняемые объекты // Южная Якутия – новый этап индустриального развития: Материалы международной научно-практической конференции. – / Гриб Н.Н., Черных Е.Н., Пазынич А.Ю., Гриб Г.В. // Нерюнгри: Изд-во Технического института, 2007. – В 3-х томах. – Т. 2. С. 18 - 24.
10. Гриб Г.В. Методика оценки и прогноза сейсмической опасности промышленных взрывов на разрезе «Нерюнгринский» / Н.Н. Гриб, Е.Н.Черных, А.Ю. Пазынич, А.А. Сясько, М.В. Терещенко, Г.В. Гриб, А.В. Качаев.- Иркутск - Нерюнгри: Изд-во Технического института (фил.) ЯГУ, 2007. - 41с.
11. Гриб Г.В. Особенности режима локальной сейсмичности вследствие антропогенного воздействия на геологическую среду.// Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Третьей Международной сейсмологической школы. –/ Гриб Н.Н., Г.В. Гриб, С.В. Трофименко. // Обнинск: ГС РАН , 2008. – С. 48-53.
12. Гриб Г.В. Мониторинг сейсмического воздействия промышленных взрывов на геосреду/ Гриб Н.Н., Гриб Г.В. // Вестник Технического института (филиала) Якутского государственного университета: Выпуск 4. Нерюнгри: Изд-во Технического института, 2009. С.28- 35.
13. Гриб Г.В. Техногенная коррекция локальной сейсмичности. / Гриб Н.Н., Гриб Г.В., М.В. Терещенко. // Научное обозрение №4, 2009. – С. 3 - 6.
14. Гриб Г.В. Модификация режима локальной сейсмичности как следствие техногенного давления на геолого-геофизическую среду / Гриб Г.В., Никитин ВМ., Терещенко М.В. // Тезисы международной научно-практической конференции «Тюмень - 2009» http://eage.ru/ru/conferences/sub_detail.php?id=18&id2=119.

15. Гриб Г.В. Сейсмические эффекты от промышленных взрывов – наиболее значимые геоэкологические факторы при открытом способе разработки полезных ископаемых / Гриб Г.В. // Вестник Технического института (филиала) Северо-Восточного федерального университета: Выпуск 5. Нерюнгри: Изд-во Технического института, 2010. – С. 3-7.
16. Гриб Г.В. Мониторинг откликов геосреды на импульсные нагрузки от промышленных взрывов / Гриб Н.Н., Гриб Г.В. // Перспективы развития вузовской науки IV общероссийская научная конференция, 22-25 сентября 2010 г., г. Сочи. Международный журнал экспериментального образования №11 2010. С. 195-196. М.: ИД «Академия Естествознания»
17. Гриб Г.В. Статистика сейсмичности и взрывов вблизи угольного разреза. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. – / Гриб Н.Н., С.В. Трофименко, Г.В. Гриб, В.М. Никитин. // Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 134 - 138.
18. Гриб Г.В. Геоэкологические последствия взрывных технологий при освоении полезных ископаемых / Гриб Г.В. // X Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле», Москва, Российский государственный геологоразведочный университет, 12-15 апреля, 2011 г.: Доклады: В 3т. Т. 3./РГГРУ.-М.: Экстра-Принт, 2011. – С. 15.
19. Гриб Г.В. Микросейсмическое районирование участка строительства первой очереди Эльгинского угольного комплекса// Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. –/ Гриб Н.Н., В.С. Имаев, А.А. Сясько, А.В. Качаев, Г.В. Гриб. // Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 128 – 133.
20. Гриб Г.В. Влияние технологических факторов на сейсмический эффект от массовых взрывов в разрезе «Нерюнгринский»/ Гриб Н.Н., Пазынич А.Ю., Гриб Г.В. // Вестник Технического института (филиала) Северо-Восточного федерального университета: Выпуск 6. Нерюнгри: Изд-во Технического института, 2011. -С. 71-81.
21. Гриб Г.В. Оценка сейсмической опасности при выборе промышленных площадок размещения Эльгинского горно-обогатительного комплекса Проблемы комплексного освоения георесурсов: материалы IV Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых (Хабаровск, 27 – 29 сентября 2011 г.)/ Гриб Н.Н., В.С. Имаев, А.А. Сясько, А.В. Качаев, Г.В. Гриб. // В 2 т. – Хабаровск ИГД ДВО РАН, 2011. – Т.1. С. 21 – 28.
22. Гриб Г.В. Динамика годичных распределений землетрясений Олекмо-Становой сейсмической зоны / Трофименко С.В., Н.Н. Гриб, Г.В. Гриб. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Седьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 303 – 307.

