УДК 550.371.2

НАВЕДЕННАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ, ИНИЦИИРОВАННАЯ БУРОВЗРЫВНЫМИ РАБОТАМИ НА РАЗРЕЗЕ «НЕРЮНГРИНСКИЙ»

¹Гриб Г.В., ³Колодезников И.И., ^{1,2}Трофименко С.В., ³Никитин В.М.

¹Технический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Амосова» в г. Нерюнгри, 678960 Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, ул. Кравченко, 16, e-mail: grib@nfygu.ru

²Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65, e-mail: urovsky@yandex.ru

³Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск, ул. Ленина, 33, e-mail: anrsya@mail.ru

Рассмотрены вопросы изменения динамики сейсмического процесса при производстве массовых взрывов. Рассчитана статистика распределений землетрясений и взрывов в течение суток. Установлено снижение суммарной энергии землетрясений после начала техногенного воздействия на геологическую среду. В радиусе 60 км от карьера с момента начала работ на угольном разрезе не произошло ни одного землетрясения на уровне 1012 Дж.

The questions of changing the dynamics of seismic process in the production of massive explosions. Statistics calculated the distribution of earthquakes and explosions throughout the day. The decline of the total energy of earthquakes since the beginning of anthropogenic impact on the geological environment. Within a radius of 60 kilometers from the quarry since the start of work at the coal mine there were no earthquakes at 1012 J.

Введение

Возрастающие масштабы и интенсификация освоения земных недр в современных условиях привели к появлению двух проблем, а именно: необходимости решения задач по прогнозированию чрезвычайных ситуаций, вызванных

техногенной сейсмичностью и исследование возможности для активного вмешательства в динамику природной сейсмичности техногенными воздействиями.

При проходке горных выработок возникают очаги землетрясений, которые находятся на небольших расстояниях от выработки и поэтому интенсивно проявляются. При этом происходят не только микроземлетрясения, но и довольно сильные события (горные удары). Такие техногенные проявления неоднократно наблюдались в Карагандинском угольном бассейне [1], на апатитовых рудниках в Хибинах [2, 3]. Все горные удары происходили в непосредственной близости от разрывных тектонических нарушений. Причем, изменение напряженного состояния в массиве горных пород в результате инженерной деятельности приводило к образованию новых трещин и значительным подвижкам.

Сейсмические явления, возникающие вследствие техногенного воздействия на геологическую среду, принято называть наведенной сейсмичностью, которую подразделяют индуцированную и триггерную. Индуцированная сейсмичность проявляется в виде относительно слабых толчков при внешних возмущениях, эпицентры которых располагаются в пределах области воздействия техногенного источника. Триггерная сейсмичность возникает за счет высвобождения запасенной энергии тектонических деформаций геологической средой под воздействием внешних источников возмущений [4] и, следовательно, может проявляться на активизированных структурах в областях с высокой естественной природной сейсмичностью. Энергия образующихся при этом землетрясений может достигать естественного фона сейсмической активности.

Для условий Южной Якутии техногенные воздействия на геологическую среду обусловлены открытыми горными работами на разрезе «Нерюнгринский». В связи с высокой природной сейсмичностью и близостью промышленной зоны г. Нерюнгри к гражданским сооружениям, техногенные воздействия могут влиять на уровень сейсмических и экологических рисков [5]. Практическая значимость решения обозначенных задач для развивающегося Южно Якутского региона чрезвычайно высока. В этой связи, представляют несомненный интерес

результаты анализа инструментальных наблюдений взрывов и землетрясений вблизи угольного разреза.

Практика геофизических исследований техногенной сейсмичности позволила сформулировать методические приемы анализа данного процесса. Во-первых, любую деятельность человека, связанную с воздействием на Земную среду следует рассматривать, как дополнительный энергетический фактор, который может изменять природный закон повторяемости землетрясений Гуттенберга – Рихтера $\lg = \lg A -$, где $\lg$ - среднее число землетрясений, нормированных на единичный интервал времени и на некоторую площадь. Во-вторых, радиус учета влияния техногенного фактора должен определяться энергией взрывов. $i \leq i$
 $\square \square i \square$

Контролируемыми параметрами являются статистика взрывов, высвобождаемая энергия близких землетрясений и её изменение во времени, динамика повторяемости землетрясений по разным энергетическим классам. Конечная цель данных исследований – изучение сейсмических и экологических рисков для населения, работающего и проживающего в зонах повышенной сейсмической опасности.

Результаты наблюдений

Нерюнгринский разрез (НУР) расположен севернее г. Нерюнгри, технологическая площадка которого пересекается двумя сопряженными активизированными Нижне- Нерюнгринскими разломами: (Рис. 1). Современная активность данных тектонических структур подтверждена при производстве детальных геолого-геофизических исследований в Южной Якутии [6], а также приуроченностью к ним серии мелких местных землетрясений 8 - 10-х классов (ftp://ftp.gsras.ru/pub/Regional_Catalogs/каталог ГС РАН, Рис. 2).

Рис. 1. Пространственное распределение пунктов взрывов и эпицентров слабых землетрясений ($K < 7$) вблизи технологической площадки НУР

Условные обозначения: 1 – эпицентры землетрясений по каталогу ГС РАН; 2 – пункты взрывов; 3 – эпицентры землетрясений по данным Нерюнгринской сейсмологической станции.

Сейсмомониторинговые наблюдения в Южной Якутии проводятся с 2002 г. Одной из задач данных наблюдений является изучение влияния массовых взрывов при производстве горных работ на динамику природного сейсмического процесса. В результате качественного анализа установлено, что после большинства произведенных взрывов наблюдается повышение сейсмической активности в ближней зоне технологической площадки, причем низкоэнергетические землетрясения, следующие за произведенным взрывом в виде «афтершоков» происходят либо непосредственно вслед за взрывом, либо в течение суток после него [7].

Статистическими исследованиями показано, что первый максимум частоты распределения взрывов по часам в течение суток (Рис. 3, а (1)) находится в интервале от 3 до 4-х часов, второй – приходится на 7 часов (UT), что соответ-

вует регламенту производства взрывов. Этим максимумам соответствуют два максимума количества низкоэнергетических землетрясений (Рис. 3, б(2)) по данным Нерюнгринской сейсмостанции (НСС). По каталогу ГС РАН с учетом землетрясений с энергией 108 Дж также выделяются максимумы в 4 и в 7 часов (Рис. 3, в(3)). Для западной части рассматриваемого участка, сейсмичность которого контролируется разломами субширотного простирания (Рис. 2), характерно равномерное распределение количества землетрясений.

Рис. 2. Карта-схема распределения эпицентров землетрясений и активные разломы Южной Якутии [5]

Условные обозначения: 1 – эпицентры землетрясений; 2 – активные разломы: К-Кабактинский; Н - Нижне-Нерюнгринский; Б – Беркакитский; С – Суннагино - Ларбинский; Ю-Я-Южно – Якутский; 3 – технологическая площадка НУР; 4 – г. Нерюнгри

Рис. 3. Графики распределения по часам (UT) количества землетрясений и взрывов в течение суток
 1 – статистика распределения взрывов; 2 – распределение землетрясений по часам по данным Нерюн-
 гринской сейсмостанции в радиусе 60км от НУР; 3 – распределение землетрясений по часам по дан-
 ным из каталога ГС РАН; 4 –распределение землетрясений по часам по данным из каталога ГС РАН
 кряжа Зверева.

Для оценки степени влияния технологических работ на природную сейс-
 мичность в ближней зоне (10x20), т.е. примерно в радиусе 60 км от НУР, был
 произведен расчет высвобожденной энергии по годам (Рис. 4, а(1)). В целом
 данный график имеет вид линейной функции с постоянным углом наклона -
 $2 \cdot 10^8$ Дж/год. График динамики объема взорванной массы (Рис.4, б(2)) имеет
 минимум 1998-1999 гг. и максимум в 2003-2004 гг. Землетрясение 25.05.2004 с
 энергией $5 \cdot 10^{10}$ Дж произошло на фоне увеличения объёмов взрывных работ, а
 минимум сейсмической активности совпадает с минимумом количества средне-
 годового объёма взорванной массы.

Рис. 4. Динамика высвобожденной энергии землетрясений в радиусе 60 км от НУР (а) и относительное количество взорванной массы (б)

Пространственное распределение взрывов и землетрясений показано на рисунке 1. Можно заметить, что положение эпицентров очагов землетрясений имеет выраженную тенденцию приуроченности к местам производства массовых взрывов [8]. Количественное сопоставление по результатам за 2004 г. показало, что из 80 зарегистрированных событий первая группа из 35 землетрясений (43%) произошли сразу, или спустя несколько часов после взрыва, оставшиеся события (57%) – в течение суток. Из 572 землетрясений, принятых к рассмотрению в радиусе 60км ($t_s - t_p < 0.08c$, $V_k = 8.4 \text{ км/с}$) по данным НСС 547 произошли в окрестности площадки НУР ($t_s - t_p < 0.04c$).

Анализ результатов наблюдений

Рассмотрение статистики землетрясений по часам вблизи техногенного источника насыщения энергией геологической среды имеет важное значение в проблеме очищения каталогов землетрясений от взрывов, а также в изучении взаимодействия природной и техногенной сейсмичности. Причем вариации сейсмичности, полученные авторами [8] для севера Амурской области и восточного участка трассы БАМ идентичны результатам настоящего исследования. Если предположить, что регламент взрывных работ обязывает проводить взрывы в период от 0 до 10 часов (UT), то первый максимум сейсмической суточной активности можно отнести к инициированной сейсмичности техногенного происхождения. Однако отсутствие максимума на широтных структурах (Рис. 3, г (4))

может означать, что техногенному воздействию подвержены активные структуры скрещающихся систем разломов.

Энергетический потенциал сейсмического процесса (диссипация энергии упругих деформаций) до и после производства массовых взрывов не изменился (см. Рис. 4, а(1)). Такой результат может свидетельствовать о том, что массовые взрывы от начала производства в 1982 г. до 2008 г. не оказывали существенного влияния на общий энергетический баланс сейсмотектонического процесса на энергетическом уровне 108-1010 Дж.

Ближайшее к разрезу землетрясение (56,83СШ, 124,42ВД) с энергией 1011.4 Дж произошло 6 июля 1990г. на пике интенсивности взрывных работ в 20 км северо-западнее Нерюнгринского угольного разреза (НУР). Тем не менее, установить однозначно, что землетрясение с $K=11.4$ является триггерным не представляется возможным т.к. высокоточные мониторинговые наблюдения в то время не проводились. Всего по каталогу ГС РФ на технологической площадке НУР отмечено 7 землетрясений с энергией выше 1010 Дж. Одно землетрясение произошло до начала разработки карьера. Все события зарегистрированы вне временного максимума взрывов (Рис. 3) и, следовательно, вопрос о их принадлежности к триггерному эффекту явно, как и к составляющей природной сейсмичности остается открытым.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (гос. задание № 5.1771.2014К).

Список литературы

1. М.С. Хайдаров, В.В. Ильина Проблемы техногенной сейсмичности // Промышленность Казахстана. - №2, 2001.
2. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках. Под редакцией И.М. Петухова, А.М. Ильина, К.Н. Трубецкого. М.: Издательство АГН, 1997. -376с.
3. Козырев А.А., Панин В.И., Мальцев В.А. Изменение геодинамического режима и проявление техногенной сейсмичности при ведении крупномасштабных горных работ на апатито-

вых рудниках в Хибинском массиве. //Проблемы геодинамической безопасности:// Международное рабочее совещание. 24 - 27 июня 1997 - СПб: ВНИМИ, 1997 - с. 67 - 69.V.N.

4. Николаев А. В. Проблемы наведенной сейсмичности //Наведенная сейсмичность. М.: Наука, 1994. С. 5-15.
5. Имаев В.С., Трофименко С.В., Гриб Н.Н., Имаева Л.П., Козьмин Б.М., Мельников А.И., Никитин В.М., Статива А.С. Разломная тектоника и геодинамика в моделях очаговых зон сильных землетрясений Южной Якутии. – Томск: Изд-во Томского политех. института, 2007. - 273 с.
6. А.Н. Овсяченко, С.В. Трофименко, Мараханов А.В., П.С., Карасев, Е.А. Рогожин, В.С. Имаев, В. М. Никитин, Н.Н. Гриб Детальные геолого-геофизические исследования зон активных разломов и сейсмическая опасность Южно-Якутского региона. - Тихоокеанская геология, 2009, том 28, №4, с. 55-74.
7. Гриб Н.Н., Трофименко С.В., Никитин В.М. Техногенные проявления сейсмичности в Южной Якутии в зоне открытых горных работ // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы: Сборник материалов 4 Международного Симпозиума, 15-20 июня 2008 г.: Москва – Бишкек; 2009, С. 251-255.
8. Трофименко С.В., Гриб Н.Н. Использование промышленных взрывов для мониторинга локальных структур и решения прямых и обратных задач геофизики/ Четвертый всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон». - Владивосток. - Изд-во ДВГУ, 2005. - С.144-149.
9. Kevin G. Mackey, Kazuya Fujita, Larisa V. Goubina, Boris M. Kozmin, Valery S. Imaev, Ludmila P. Imaeva, Boris M. Sedov Explosion Contamination the Northeast Siberian Seismisiti Catalog: Implication for Natural Earthquake Distribution and Location of the Tanlu Fault in Russia //Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 93, No. 2, pp. 737-746, April 2003
10. ftp://ftp.gsras.ru/pub/Regional_Catalogs