

УДК 550.348

## ПРОЯВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

© 2014 Г.В. Гриб, Н.Н. Гриб

Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета  
в г. Нерюнгри

Поступила в редакцию 07.04.2014

В статье рассматривается проявление техногенной сейсмичности в Южной Якутии в связи с использованием взрывных технологий при разработке угольных месторождений. Под воздействием массовых взрывов происходит изменение количества сейсмических событий и изменение уровня высвобожденной энергии. Оценена область влияния взрывных работ на локальную сейсмичность региона.

Ключевые слова: *массовые взрывы, геологическая среда, первичная сейсмичность, наведенная сейсмичность, триггерная сейсмичность*

В последние десятилетия увеличились масштабы воздействия человека на окружающую среду, не только на такие быстро реагирующие компоненты экосистем, как животный и растительный мир, почва, вода и воздух, но и на те компоненты, которые обычно считались не подверженными влиянию цивилизации. К таким компонентам экосистем, как наиболее устойчивым, долгое время относили верхние слои земной коры и деформационные процессы, протекающие в них. Однако в последнее время представления о современном геодинамическом состоянии недр радикально изменились. Интенсивное использование взрывной технологии на горнодобывающих предприятиях, когда используются заряды взрывчатых веществ (ВВ) большой массы (от 300 до 1400 тонн), определяет значительный вклад массовых взрывов в сейсмичность Южно-Якутского региона. При этом существенно повышается локальная сейсмичность региона [1]. Сейсмические колебания, возникающие непосредственно в момент техногенного воздействия, следует определить как первичную сейсмичность. Все сейсмические явления, возникающие в горном массиве по различным причинам после или в процессе техногенного воздействия, принято называть наведенной сейсмичностью [4]. В свою очередь, наведенная сейсмичность подразделяется на две категории: индуцированную (возбужденную) сейсмичность и триггерную (иницированную) сейсмичность.

Схематически классификацию техногенной сейсмичности можно представить следующим образом (рис. 1).

*Гриб Галина Владиславовна, заведующая лабораторией мониторинга и прогноза сейсмичности. E-mail: nss@neru.sakha.ru*

*Гриб Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры горного дела. E-mail: grib@nfygu.ru*



Рис. 1. Схематическая классификация техногенной сейсмичности [4]

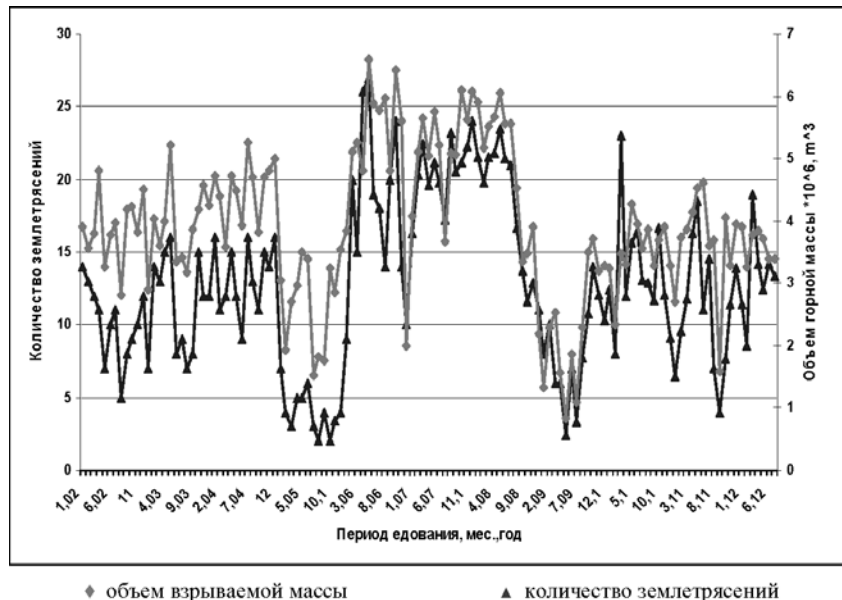
Источником первичной сейсмичности являются сами техногенные воздействия, такие, как взрывные работы в рудниках, на карьерах, в процессе строительства, при перфорировании скважин и сейсморазведке, ядерные или химические взрывы, запуски ракет, всевозможные удары по поверхности земли, например, от падения космических тел, обрушения зданий или конструкций, от работы специальных вибраторов или вибрационных источников: транспортные магистрали, заводские штампы и т. п. Наиболее отчетливо первичная сейсмичность присутствует при выполнении любых работ с применением взрывных технологий. Она проявляется в виде цуга сейсмических волн, продолжительность которых определяется условиями взрывания, а амплитуда колебаний – энергией взрыва и расстоянием от места работ. Параметры колебаний первичной сейсмичности зависят также от физико-механических свойств среды, на которую оказывается техногенное воздействие и от особенностей трассы распространения сейсмических волн. Образующиеся вслед за первичной сейсмичностью любые формы техногенной сейсмичности являются наведенной сейсмичностью. Наведенная сейсмичность возникает как реакция горного массива на техногенное воздействие сразу же, подобно афтершокам при землетрясениях и

взрывах, или через некоторое время после воздействия, как при горных работах. Именно эту форму сейсмичности обычно подразумевают, когда говорят о техногенной сейсмичности. Наведенная сейсмичность является следствием различных воздействий человека на земную кору: динамических, медленно нарастающих, статических, периодических. Основная отличительная особенность наведенной сейсмичности состоит в том, что источником ее появления служат собственные запасы упругой энергии в среде или энергия, переданная среде в процессе воздействия. Условия высвобождения энергии структурами земной коры при техногенных воздействиях зависят от геолого-тектонических характеристик конкретного массива и региона в целом.

Индукцированная сейсмичность, которую иногда называют возбужденной или вынужденной [4], является наиболее типичной формой наведенной сейсмичности и проявляется обычно в виде относительно слабых толчков при техногенных воздействиях как в тектонически-активных породных массивах, так и в породах с невысоким уровнем напряженного состояния. К индуцированной сейсмичности следует относить такие случаи появления сейсмических колебаний, когда за счет энергии воздействия в среде достигается определенный уровень напряженного состояния, при котором происходит активизация деформационных процессов. Воздействие может изменить условия взаимодействия структур среды, переводя их в новое состояние с выделением энергии, либо явиться причиной перераспределения естественных напряжений с их концентрацией в некоторой области до критической величины и последующим

высвобождением избыточных напряжений в виде сейсмических колебаний. Гипоцентры индуцированной сейсмичности расположены обычно в пределах области воздействия техногенного источника. Энергия колебаний при индуцированной сейсмичности, как правило, невелика и ограничена магнитудами  $M \leq 3-3,5$ .

Триггерная сейсмичность возникает за счет высвобождения собственных запасов энергии в геологической среде под воздействием внешних источников возмущений. Ее появление – это результат нарушения стационарного деформационного режима в среде, когда даже слабые воздействия могут привести к возникновению сильной техногенной сейсмичности. Энергия, образующихся при этом колебаний, может достигать максимальных для естественной сейсмичности значений и будет определяться уровнем тектонических напряжений в среде и размером области с таким уровнем напряжений. В данных условиях энергетика триггерной сейсмичности может превышать энергию техногенного воздействия. Как следует из анализа материалов по наведенной сейсмичности, триггерная сейсмичность возникает иногда при техногенных воздействиях в несейсмичных или слабосейсмичных районах, где землетрясения, как правило, неожиданное и редкое явление. Чаще она появляется в тектонически-активных регионах, характеризующихся высоким уровнем напряженного состояния и наличием природной сейсмичности. Техногенное воздействие в этом случае только ускоряет или запускает (является триггером) процесс высвобождения собственных запасов упругой энергии в массиве или вызывает срабатывание уже готовящегося очага землетрясения.



**Рис. 2.** Графики изменения объема взрывааемой массы и количества близких землетрясений в месяц за период 1.01.02 – 31.07.12 г.

Рассмотрим особенности наведенной сейсмичности и ее две основные категории, индуцированную и триггерную, применительно к конкретным ее источникам: горным работам. В

качестве результатов проявления техногенной сейсмичности анализировались данные сейсмологического мониторинга за период с 1 января 2002 г. по 31 июля 2012 г. При сопоставлении

сейсмологических данных с объемом взорванной горной массы установлена следующая закономерность: с увеличением объема взорванной горной массы увеличивается количество близких землетрясений (рис. 2.). Анализ выполнялся суммарно: объем взорванной горной массы сопоставлялся с количеством близких землетрясений за месяц. В выборку были включены близкие 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. Коэффициент корреляции между количеством землетрясений и объемом взорванной горной массы в месяц составил 0,82 (рис. 3.) 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 (рис. 4).

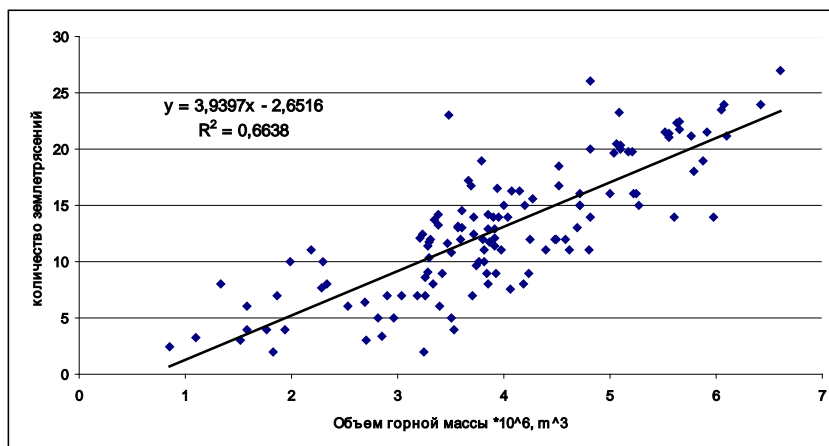


Рис. 3. Поле корреляции и график зависимости между количеством землетрясений и объемом взорванной горной массы на разрезе «Нерюнгринский»



Рис. 4. Распределение среднегодовой энергии от землетрясений в радиусе 50 км от производства взрывных работ

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} [2]. 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 (рис. 5.).

На рис. 6. 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 20-25-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. Причина активизации локального разлома становится ясной при сопоставлении очагов землетрясений с пространственным распределением взрывов, которое проиллюстрировано на рис. 7.

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 2004 г. показало, что из 80 зарегистрированных сейсмических событий 35 произошли сразу, или через несколько часов после взрыва [2]. Очаги землетрясений либо приурочены к пункту взрыва, либо располагаются северо-западнее вдоль выявленной структуры. Следовательно, активное воздействие на геологическую среду вызывает отклик в виде изменения уровня сейсмической активности. Под воздействием массовых взрывов происходит изменение количества сейсмических событий и изменение уровня высвобожденной энергии.

Поскольку основной формой геодинамического развития сейсмогенных разломов являются движения их бортов [3] (в виде взаимного «проскальзывания»), а проявление сейсмических

событий происходит лишь при невозможности (или затрудненности) развития указанной формы деформации, то есть возникают зоны напряженного состояния земной коры, поэтому, по нашему мнению, сотрясательное воздействие взрывных работ может рассматриваться как фактор, способствующий преобладанию асейсмических форм движения разломов в виде плавного проскальзывания их бортов. Следовательно, воздействие взрывных работ способно не только активизировать разломы вокруг зоны ведения горных работ, но и способствовать оказывать разгружающее воздействие на формирующиеся в недрах очаги сейсмической опасности, т.е. перераспределение энергии землетрясений в сторону снижения их энергетического класса. Таким образом, нарастание техногенного давления на геолого-геофизическую среду приводит к необратимым явлениям в сейсмическом процессе.

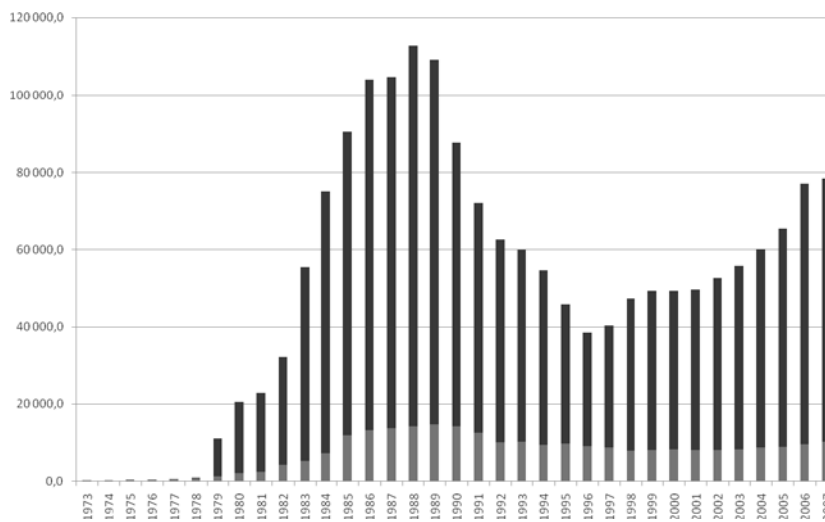


Рис. 5. Динамика объемов добычных (■ - тыс.т) и вскрышных (■ - тыс.м<sup>3</sup>) работ по годам в разрезе «Нерюнгринский»

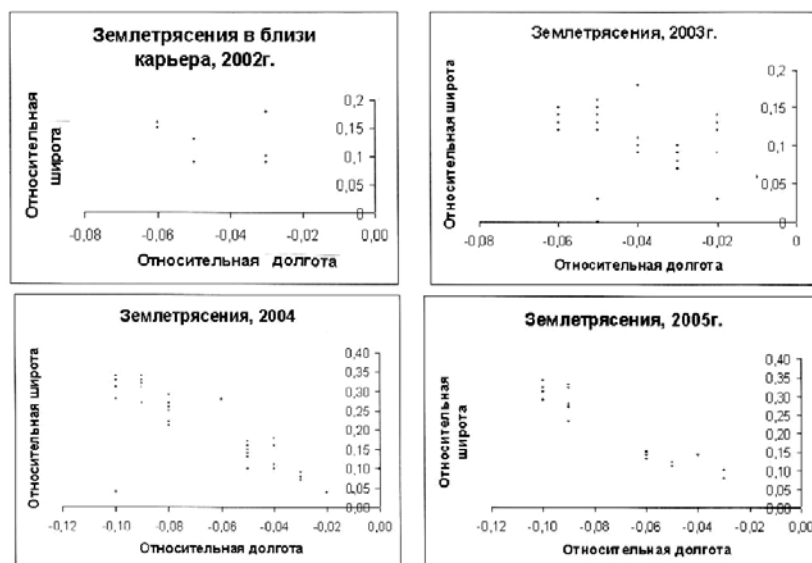


Рис. 6. Землетрясения вблизи разреза в 2002-2005 гг. (по данным НСС)

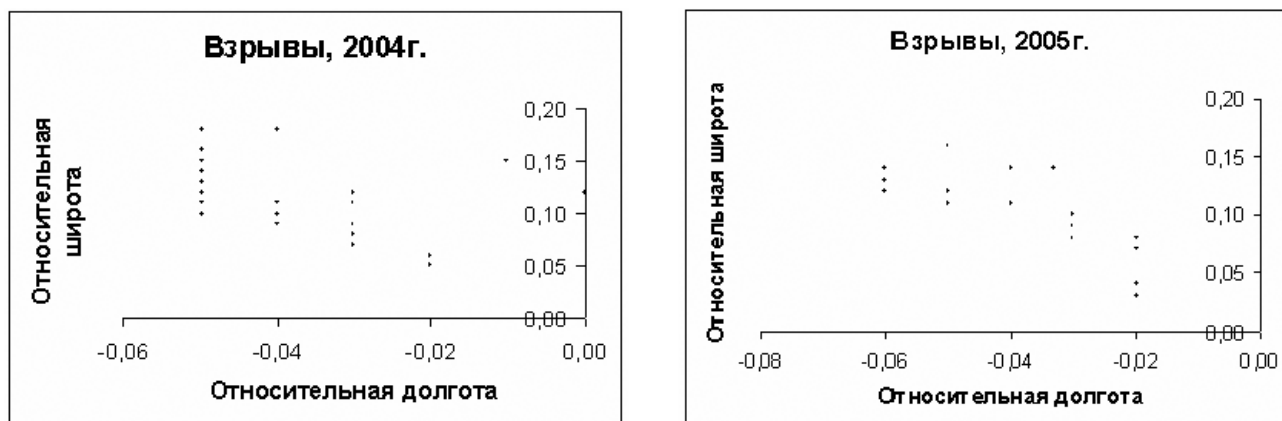


Рис. 7. Взрывы в разрезе «Нерюнгринский» в 2004-2005 гг.

#### Выводы:

1. Воздействие массовых взрывов на геологическую среду вызывает сейсмический отклик в виде формирования техногенных землетрясений, изменения уровня природной сейсмической активности и среднего уровня высвобожденной энергии землетрясений.

2. Сотрясательное воздействие взрывных работ может рассматриваться как фактор, способствующий преобладанию асейсмических форм движения разломов в виде плавного проскальзывания их бортов, следовательно, воздействие взрывных работ способно не только активизировать разломы вокруг зоны ведения горных работ, но и способствовать оказывать разгружающее воздействие на формирующиеся в недрах очаги сейсмической опасности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гриб, Н.Н. Техногенная коррекция локальной сейсмичности / Н.Н. Гриб, Г.В. Гриб, М.В. Терещенко // Научное обозрение. 2009. №4. С. 3-6.
2. Гриб, Н.Н. Сейсмомониторинговые исследования техногенного воздействия на геологическую среду / Н.Н. Гриб, Г.В. Гриб // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13 (39), № 1(6). С. 1319-1321.
3. Мирзоев, К.М. Возбужденная сейсмичность в районе водохранилища Нурекской ГЭС / К.М. Мирзоев, С.Х. Негматулаев, Д. Симпсон, О.В. Соболева. – Душанбе: Дониш, 1987. 403 с.
4. Николаев, А.В. Проблемы наведенной сейсмичности // Наведенная сейсмичность. – М.: Наука, 1994. С. 5-15.

## MANIFESTATION THE TECHNOGENIC SEISMICITY IN SOUTH YAKUTIA

© 2014 G.V. Grib, N.N. Grib

Technical Institute Branch of Northeast Federal University in Neryungri

In article manifestation of technogenic seismicity in South Yakutia in connection with use of explosive technologies when developing coal fields is considered. As a result of mass explosions there is a change of seismic events quantity and change of the released energy level. The area of explosive works influence on local seismicity of the region is estimated.

Key words: mass explosions, geological environment, primary seismicity, induced seismicity, trigger seismicity

Galina Grib, Chief of the Monitoring and Seismicity Forecast Laboratory. E-mail: nss@neru.sakha.ru  
Nikolai Grib, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Mining Department. E-mail: grib@nfygu.ru