

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

УДК 550.834

DOI:10.7242/echo.2020.3.11

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСТОЧНИКОВ УПРУГИХ ВОЛН УДАРНОГО ТИПА НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НОРИЛЬСКА

В.Ю. Бобров

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** На основе информации о горно-геологических особенностях промышленного Норильского района выполнена оценка возможностей источников упругих колебаний. Предоставлены рекомендации по подбору источника и числу накапливаний при отработке физической точки с учетом достаточности энергии отраженных сигналов. Рассчитаны оптимальные размеры плиты-подложки, необходимой при работах невзрывными типами источников, в зависимости от конкретных поверхностных условий.

**Ключевые слова:** сейсморазведочные исследования, источник упругих колебаний.

Норильский рудный район является бесценной кладовой на крайнем севере. В районе сосредоточены сульфидные медно-никелевые месторождения мирового значения. Норильские руды – сырье для получения никеля, меди, кобальта, платины и т.д. Как правило, залегают на глубине от 150 до 1500 метров от поверхности. Большинство крупных месторождений, эксплуатируемых подземным образом, расположены вдоль глубинного Норильско-Хатангского разлома, образуя Норильский и Талнахский рудные узлы [8].

При разработке и эксплуатации подземного рудника существует необходимость в контроле состояния как промышленных пластов, так и перекрывающей толщи. В частности, при проведении горных работ есть вероятность образования водопритоков в горные выработки, что ставит под угрозу безопасность действующего рудника. В промышленном Норильском районе основные водопритоки сосредоточены в интервале глубин 0-300 метров. По результатам бурения, проходки стволов и горизонтальных рудников, на глубинах более 300 метров водообильность пород незначительна.

Сейсморазведочные исследования с высокой степенью достоверности позволяют изучать физико-геологические особенности строения породного массива, и тем самым выявлять участки с особенностями водопроявлений.

Одним из главных аспектов при проектировании сейсморазведочных работ является подбор источника возбуждения упругих колебаний. От выбора оптимального источника зависит качество результатов и оперативность получения информации. Выбор источника напрямую зависит от технологических, экономических, экологических и ряда других факторов [1]. Так как проведение сейсморазведочных работ подразумевается непосредственно на территории рудника, исключается возможность применения взрывных типов источников (детонатор, малые заряды и т.д.). Для изучения глубин порядка 300 метров отлично зарекомендовал себя такой источник, как механизированный молот AWD-33 [2]. Данный источник является разновидностью сейсмических источников типа «падающий груз». Энергия единичного удара при его использовании с массой цельного бойка 33 кг составляет не менее 600 Дж и характеризуется увеличенным частотным составом генерируемых волн. [3]. AWD-33 отличается простотой в использовании и мобильностью, тем самым имеется возможность в эксплуатации на территориях с достаточно сложным рельефом. Источник является неразрушающим, что позволяет использовать его на территории рудника, непосредственно в промышленной зоне, без экологических последствий.

Учитывая, что поверхностные условия исследуемой территории, помимо рыхлых осадочных накоплений, характеризуются выходами коренных пород [4], удовлетворительную волновую картину в интервале глубин до 300 м можно получить с помощью механизированного молота AWD-33 с массой полого бойка 10 кг, энергия удара которого составляет 300 Дж. Так же приемлемые характеристики генерируемых сейсмических импульсов могут быть получены с помощью ручной кувалды весом не менее 6 кг. Энергия единичного использования кувалды достигает порядка 300 Дж. При уменьшении энергии при ударе, необходимые энергетические показатели источников достигаются путем увеличения количества накапливаний на каждой физической точке.

Количество накапливаний при отработке одного пункта взрыва является компромиссным решением достаточности энергии регистрируемых отраженных сигналов при минимальных временных затратах. При экспериментальном опробовании вышеперечисленных источников, учитывая конкретные поверхностные условия, определено оптимальное число накапливаний, равное 6. Увеличение числа накапливаний не привело к значимому улучшению динамической выразительности сигнала (рис. 1). Можно заметить, что на сейсмограммах, полученных с помощью механизированного молота AWD-33, более высокое соотношение сигнал-помеха в области первых вступлений, чем на сейсмограммах, полученных с помощью кувалды.

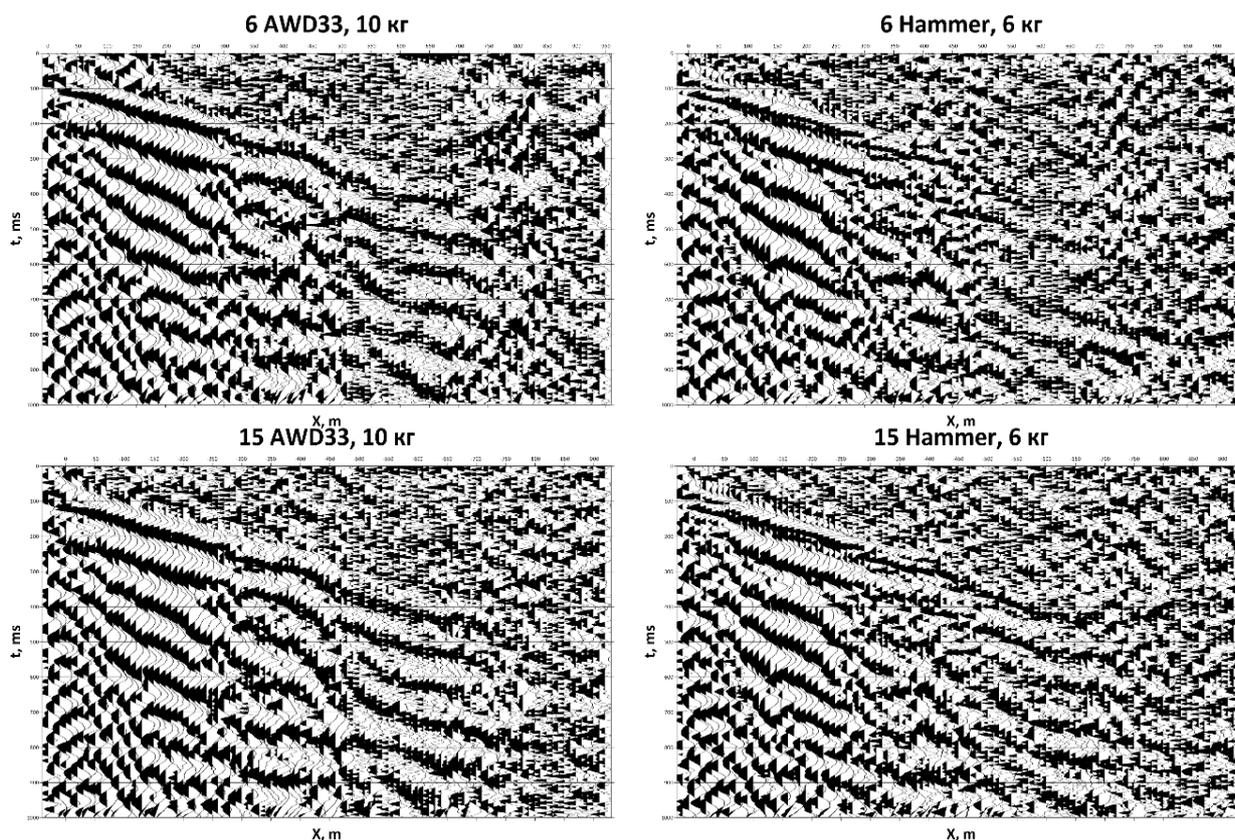


Рис. 1. Сейсмограммы ОГТ

Оба источника возбуждения включают три компонента: боек, плита-подложка, масса присоединенного грунта. Для достижения требуемых характеристик волнового поля, помимо выбора источника упругих колебаний и количества накапливаний, необходим правильный подбор размера рабочей поверхности плиты-подложки и жесткости материала этой плиты и (или) молота.

Эффективность источника определяется тем, какая часть полной энергии при ударе преобразуется в энергию упругих колебаний. Общий баланс энергии можно привести в выражении [5]:

$$A_0 = A_K + A_{\Pi} + \Pi \quad (1)$$

$A_0$  – кинетическая энергия молота до удара,  $A_K$  – кинетическая энергия молота после удара (энергия отскока),  $A_{\Pi}$  – общая потенциальная энергия (израсходованная на образование упругих волн),  $\Pi$  – энергия пластических необратимых деформаций.

Исходя из этого, для повышения эффективности удара следует стремиться к увеличению правой части выражения (1). Известно, что интенсивность удара зависит от таких факторов как масса бойка, скорость падения бойка, длительность удара [5]. Также необходим правильный подбор площади плиты-положки для каждого типа конкретных поверхностных условий.

При проведении сейсморазведочных работ на территории с рыхлым поверхностным слоем большая часть энергии удара тратится на необратимые пластические деформации. Понижение деформации возможно благодаря распределению удара на большую площадь. Однако применение слишком большой плиты влечет за собой повышение расхода энергии удара в связи с образованием дополнительных вибраций в плите. Кроме того, использование плиты большого размера нецелесообразно, так как возникают трудности при достижении оптимального контакта с грунтом.

Рассчитать оптимальные размеры плиты-подложки для различных поверхностных условий, при котором будет генерироваться определенный частотный состав сигнала, можно с помощью формулы [6]:

$$d = \frac{V * \sqrt[3]{k}}{f * 4,83} \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр плиты-подложки,  $V$  – скорость распространения звуковой волны в грунте,  $k$  – коэффициент восстановления для случая столкновения двух тел,  $f$  – доминирующая частота.

При наблюдениях на территории с осадочным слоем при средних значениях  $V = 350-400$  м/с [7] с подавляющей частотой  $f \geq 100$  Гц можно рекомендовать размер плиты-подложки с  $d \leq 0,4$  м.

При наблюдениях на территории с выходами коренных пород при  $V = 2000 - 2500$  м/с [4],  $f = 700$  Гц,  $d \leq 0,34$  м.

При наблюдениях на территориях с выходами коренных пород во время удара происходит отскок молота от плиты. Из выражения (1) следует, что доля энергии отскока  $A_K$  увеличивается, в то время как полезная потенциальная энергия  $A_{\Pi}$  уменьшается. В данном случае повышение  $A_{\Pi}$  осуществляется путем подбора плиты из менее жесткого материала.

Анализируя физику явлений, происходящих при отработке пунктов взрыва, можно подбирать параметры так, чтобы на образование упругих волн тратилась большая часть энергии удара.

Как показывает практика, при проведении сейсморазведочных работ на промышленной территории Норильского района требуется оперативность. Для отработки одной физической точки кувалдой требуется больше временно-трудовых затрат, чем при отработке точки механизированным молотом [2].

Таким образом, для получения более качественной волновой картины и за меньшее время рекомендуется применение источника возбуждения упругих колебаний типа механизированного молота AWD-33 с массой бойка не менее 10 кг, с 6 накоплениями на одной физической точке. В качестве подложки рекомендуется титановая плита с диаметром 34-40 см в зависимости от типа поверхностного слоя.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Санфиоров И.А. Ярославцев А.Г. Опыт применения сейсморазведки ОГТ для решения инженерно-геологических задач // Геофизика. – 2004. – № 3. – С. 27-30.
2. Бобров В.Ю. Сравнительный анализ источников упругих колебаний для инженерных сейсморазведочных работ // XIX Уральская молодежная научная школа по геофизике: сб. науч. материалов / ИГФ УрО РАН [и др.]. – Екатеринбург, 2018. – С.27-29.
3. Geodevice: [сайт]. – URL: <https://geodevice.ru/main/seismic/sources/awd/awd33> (дата обращения 04.02.2020). – Текст электронный.
4. Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений / [Генкин А.Д., Дистлер В.В., Гладышев Г.Д. и др.; отв. Ред. Т.Н. Шадлун]. – М.: Наука, 1981. – 234 с.: ил.
5. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 176 с.: ил.
6. Санфиоров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ / ГИ УрО РАН. – Екатеринбург, 1996. – 168 с.
7. Горяинов Н.Н., Ляховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. – М.: Недра. 1979. – 143 с.: ил.
8. Фрейдин А.М., Неверов А.А., Неверов С.А. Подземная разработка рудных месторождений / Учебное пособие.- Под редакцией чл.-корр. РАН В.Н. Опарина. – Новосибирск.: ИГД СО РАН, 2010. – 372с.

УДК 550.83:004.42

DOI:10.7242/echo.2020.3.12

**СВОБОДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДЛЯ ЗАДАЧ ГРАВИРАЗВЕДКИ И МАГНИТОРАЗВЕДКИ**

И.В. Геник

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Возможность иметь современное программное обеспечение может быть обеспечена несколькими путями. Первый – это разработка собственных программ. Данный путь ограничен постоянными существенными затратами, которые должны окупаться тем или иным способом. Затраты включают в себя такие зачастую вынужденные меры, как поддержка устаревшего программного кода, разнообразных специфических узкоспециализированных библиотек, расширяющих возможность старого кода, невозможность и ограничения по использованию новых программных решений, что существенно увеличивает время разработки. Второй путь – покупка готовых программных пакетов и их обновлений, что почти полностью исключает собственную научно-исследовательскую деятельность и также требует затрат, пусть и не таких существенных, как в первом случае. Третий путь связан с использованием свободного программного обеспечения, подразумевая использование бесплатных программных продуктов, их самостоятельное изучение, использование и совершенствование.

В статье рассмотрено свободное программное обеспечение, достигшее значительных успехов за последние 10-15 лет. Главное внимание уделено программам и библиотекам, предназначенным для решения задач гравиметрии и магнитометрии: PyGIMLi, Fatiando a Terra, PyGMI, SimPEG. Указанное программное обеспечение реализовано на языке программирования Python и использует продвинутое математические и прочие библиотеки этого языка. Программы и библиотеки дают возможности решать прямые и обратные задачи гравиразведки, магниторазведки, а также некоторых других геофизических методов, выполнять операции с данными, визуализировать поля и модели. Возможности языка программирования Python позволяют наращивать необходимую функциональность интерпретации гравиметрии и магнитометрии на пути комплексирования с другими геофизическими методами, обработки больших данных, интеграции с геоинформационными системами и реализации геофизических вебсервисов.

**Ключевые слова:** геофизика, гравиразведка, магниторазведка, интерпретация, программное обеспечение, свободное программное обеспечение.

**Введение**

Современное программное обеспечение должно отвечать многим требованиям: функциональность, гибкость и расширяемость, постоянная модернизация, дешевизна использования. Попытки реализовать указанное при собственной разработке программного обеспечения, несмотря на кажущуюся простоту, упираются в значитель-