

## НЕЛИНЕЙНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УПРУГИХ ВОЛН С ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ОРУДЕНЕНИЯМИ

В процессе исследований в полиметаллических оруденениях обнаружено явление нелинейного механоэлектрического преобразования при прохождении упругих волн звукового диапазона частот. Выделяемая энергия в виде электромагнитных импульсных сигналов радиоволновой частоты может многократно превосходить энергию активации упругими волнами. Во вмещающих породах такие процессы не зарегистрированы. Разработан метод разведки полиметаллических и золотосульфидных руд.

**Ключевые слова:** нелинейное механоэлектрическое преобразование; упругие волны; оруденение; напряженно-деформируемое состояние; полиметаллы; методы разведки.

В ходе научных исследований, проводимых в Институте физики Земли РАН и ряда производственных организаций изучались механо-электрические преобразования в полиметаллических рудах. Проведены многочисленные лабораторные и полевые работы по исследованию электромагнитной эмиссии от рудных минералов и горных пород, основанных на механоэлектрическом преобразовании упругих волн (УВ) в электромагнитные импульсные сигналы (ЭМИ) [Демин В.М., Майбук З.-Ю.Я., 2004]. Эти работы легли в основу прямых геофизических методов поиска и разведки минералов пьезоэлектриков (Пьезоэлектрический метод (ПЭМ)) [Воларович М.П., Соболев Г.А., 1969] и рудоносных структур, представленных сульфидами и окислами металлов (Радиоимпульсный метод (РИМ)) [Соболев Г.А. и др., 1991]. Методы такого типа созданы впервые в мире и являются реализацией возможностей двух научных открытий: "Явление пьезоэлектрических структур в горных породах" (№ 57) [М.П. Воларович, Э.И. Пархоменко] и "Явление генерации природными полиметаллическими рудными телами импульсного электромагнитного излучения" (№267) [Г.А. Соболев, В.М. Демин, З.-Ю.Я. Майбук].

Основные исследования проводились на месторождениях:

1. Пьезокварцевых - Актас (Центральный Казах-стан), До-до (Приполярный Урал) Южный (Урал), Володар-Волынский (Украина);

2. Полиметаллических - Кличка, Акатуй (Нерчин-ский ГОК, Читинская обл.), Центральном, Силинском, Арсеньевском, Высокогорском (ХГОК, Приморский край), Каракульское (Горный Алтай), Текели, Суук-Тюбе, Борохузир (Казахстан);

3. Золоторудных - "Сосновское", "Средне Галготайское", (Читинская обл.), "Качкарское", "Березовское" (Урал), "Степногорское" (Казах-стан), "Бодрый", "Тэутэджек" (Магада-нская обл.), "Валунистое" (Чукотский АО), "Джайнт Еллоунайф майн" (Канада) и ряда других.

Известно, что распространение в массиве горных пород упругих колебаний сопровождается генерацией ЭМИ различной природы. Это происходит за счет сейсмoeлектрического эффекта 2-го рода, механоэлектрического эффекта

контактов, пьезоэлектрического эффекта, сейсмомагнитного и других. Данные эффекты характеризуются совпадением в первом приближении частот УВ и ЭМИ волны, а также прямой зависимостью между их амплитудами. Большинство известных преобразований носит линейный характер, а их физический механизм объясняется эффектами, связанными с электризацией и поляризацией пород, изменения проводимости, электрокинетических потенциалов, магнитной и диэлектрической проницаемости [Нейштадт Н.М. и др., 1984]. На практике из этих преобразований в разведочных методах чаще используют пьезоэлектрический и значительно реже сейсмoeлектрический эффект. Из-за довольно низких значений коэффициентов электромеханической связи практическая дальность этих методов (при работах в прочных малонарушенных коренных породах) в среднем составляет от 10 до 80 метров. Сигналы ЭМИ представляют собой в идеале уменьшенную копию воздействующих на него механических колебаний (микрофонный эффект). На расстояниях 10-50 метров от создающего упругие колебания взрыва заряда взрывчатого вещества массой от долей килограмма до нескольких первых килограммов либо удара копром основные энергонесущие частоты УВ (в известняках и песчаниках) составляют 0.6-2 кГц. В этом же диапазоне частот наблюдаются значительные помехи природного и особенно техногенного характера что создает сложности в регистрации сигналов ЭМИ и ограничивает дальность. Кроме того, линейные методы эффективны только в тех случаях, если природные структуры обладают существенным механоэлектрическим эффектом. Например, успешно можно вести разведочные работы на пьезокварцевых месторождениях при эффективности преобразования более 6-8% от величины, регистрируемой в эталоне - монокристалле пьезокварца  $x$ -срезы (100% преобразовуль), и необходимо учитывать возможные преобразования во вмещающих породах, таких как песчаник, гранит и т.п.

В полиметаллических рудах находящихся в массиве вмещающих горных пород были обнаружены сигналы эмиссии электромагнитного

импульсного излучения в радиоволновом диапазоне (ИРЭМИ) (диапазон частот 0.04-6 МГц) при воздействии УВ звукового диапазона частот (0.5-2 кГц) либо при изменении напряженно-деформированного состояния оруденения. Напряженность поля ИРЭМИ непосредственно в источнике (руде) достигает  $E \approx 10^5 - 10^6 \text{ В/см}^2$  (рис.1) [Демин В. М. и др., 1998].

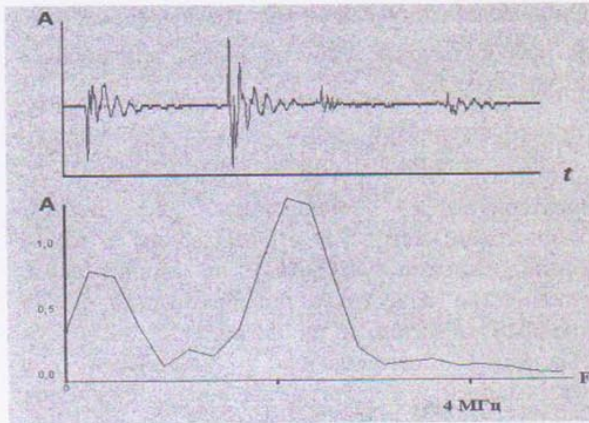


Рис. 1. Сигнал ИРЭМИ и АЧ спектр

Установлены свойства излучения, которые выделяют его из известных электромеханических полей в виде самостоятельного нелинейного механоэлектрического преобразования [Майбук З.-Ю.Я., 2006].

Особенности данного преобразования позволяют сделать вывод о его триггерном механизме. Одним из возможных источников энергии могут быть аномально интенсивные электрохимические процессы, наблюдаемые в полиметаллических рудных телах. Фронт упругих волн (при достижении некоего порога) нарушает квазиустойчивое сложившееся электрическое состояние среды. Сигналы ИРЭМИ во вмещающей горной породе не возникают, а его источники находятся непосредственно в зоне оруденений и наблюдаются только после того, как упругая волна достигает и переходит границы рудного тела.

Отметим, что руды, на которых наблюдали сигналы ИРЭМИ, обладают хорошо выраженными полупроводниковыми свойствами и находятся в сложном электрическом состоянии обусловленным воздействием многочисленных природных источников электрических процессов в гетерогенной среде, каковой представляется полиметаллическое рудное тело.

Физика данного преобразования до конца не выяснена, необходимо провести ряд дополнительных лабораторных и полевых исследований, однако выявленные свойства явления позволяют успешно применять его в геофизических разведочных работах на полиметаллических и золотосульфидных месторождениях.

Интенсивность излучения ИРЭМИ превосходит известные излучения механоэлектрических линейных преобразований на несколько порядков, в радиоволновом диапазоне частот ЭМИ малый уровень помех, что позволило разработать эффективный прямой радиоим-пульсный метод поиска и разведки рудных тел (РИМ). Источники излучения связаны с сульфидами и окислами металлов, причем динамические характеристики сигналов позволяют интерпретировать среду (состав руды) и проследить связь в оруденениях по признакам полезной минеральной ассоциации. Выделенная энергия ИРЭМИ в процессе преобразования может многократно превосходить энергию активации УВ. Во вмещающих породах такие процессы не зарегистрированы. Сигналы ИРЭМИ регистрируются рамочными широкополосными антеннами на значительных расстояниях от источника возбуждения УВ. Например, в золотосульфидных зонах находящихся в массиве вмещающих пород ИРЭМИ выделялись на уровне фоновых шумов до 150-250 метров, а от массивных сфалерит-галенитовых руд – 250-350 и более метров (рис.2).

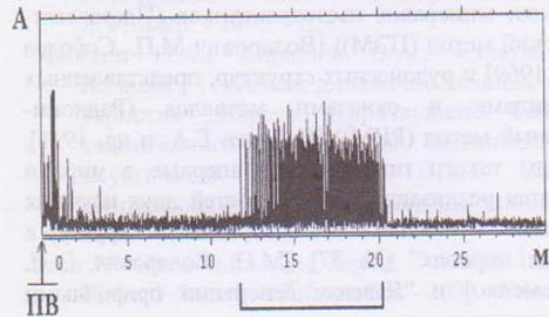


Рис. 2. Гистограмма сигналов ИРЭМИ (массивное рудное тело).

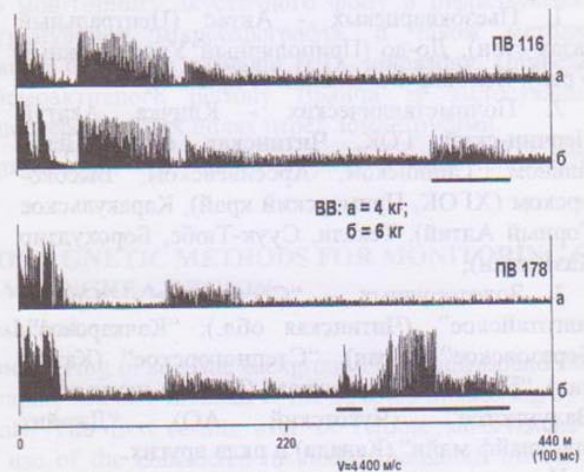


Рис.3. Гистограммы сигналов ИРЭМИ при разных зарядах ВВ (разная интенсивность - порог УВ)

Замечено, что даже при значительном увеличении энергии УВ (массы взрывчатого вещества), повышается дальность, и количество импульсов, но не меняется амплитуда сигналов ИРЭМИ (при условии одинакового расположения приемных датчиков и пункта возбуждения УВ) (рис. 3).

При частом, многократном - через 5-15 минут возбуждении УВ одного и того же оруденения амплитуда сигналов ИРЭМИ резко уменьшается, и время полного восстановления активности может составлять от первых часов до нескольких суток.

Особый интерес в связи с проблемой предупреждения горных ударов могут иметь исследования механизмов механоэлектрических преобразований при изменении напряженно-деформируемого состояния руд. При отбойке значительной массы породы (180-3000 тонн) сигналы ИРЭМИ регистрировались в течение нескольких часов - суток в виде волнообразных пачек импульсов разной частоты и амплитуды. На месторождениях полиметаллов разного минерального состава в спокойных условиях наблюдали излучение в диапазоне частот до 2.9 МГц без сопровождения упругими волнами и сигналами акустической эмиссии [Майбук З.-Ю.Я., 2006]. Возможно, возникают естественные электрические пробои при протекании электрических реакций, однако нельзя исключать, что это реакция оруденения на крайне медленное изменение квазипостоянного механического напряженного состояния вмещающего массива горных пород.

Полевые и лабораторные исследования показали, что механизм генерации сигналов ИРЭМИ может быть следующим: в рудных телах и оруденениях, находящихся в условиях природного залегания, при наличии рудных минералов происходят электрохимические и механоэлектрические процессы, в результате которых в течение определенного времени устанавливается квазистабильное сложное, но устойчивое электрическое состояние. При этом в отдельных участках оруденения накапливаются электрические заряды изолированные природными диэлектриками, в том числе контактами минералов - полупроводников.

Распространяющаяся по рудосодержащей горной породе фронт УВ вызывает в отдельных участках полиметаллических руд (с пониженной прочностью или повышенными механическими напряжениями) появление трещин, это сопровождается возникновением слабых электрических импульсов. Одновременно УВ вызывает поляриза-

цию рудного тела за счет градиента деформации, а при наличии минералов - пьезоэлектриков и пьезоэлектрического эффекта. Под действием электрических импульсов и возникающего поляризуемого поля в запорных слоях и барьерах образуются активные элементы, связанные в цепочки - происходит нарушение квазистабильного энергетического состояния рудного объекта, в результате чего возникает эмиссия сигналов ИРЭМИ (триггерный тип преобразования).

Данная гипотеза нуждается в уточнении, так как многие электромеханические, химические и другие процессы в рудах недостаточно изучены и нет данных об их взаимосвязи и взаимовлиянии.

Наблюдаемая функциональная связь сигналов ИРЭМИ и природных геологических рудосодержащих объектов свидетельствует о сложности процессов, происходящих при квазистатических и динамических воздействиях, и предполагает, что должно наблюдаться изменение других параметров геофизического поля и возможно присутствие нескольких механизмов, связанных во времени и пространстве.

#### Литература

- Волярович М.П., Соболев Г.А. Пьезоэлектрический метод геофизической разведки кварцевых и пегматитовых жил. М. Наука, 1969.
- Демин В. М., Майбук З.-Ю.Я., Лементуева Р.А. О роли пьезоэффекта при механоэлектрическом преобразовании в полиметаллических рудах. //Физика Земли. РАН. М. Наука. 1998г. N 11, с. 50-55.
- Демин В.М., Майбук З.-Ю.Я. Физические основы механоэлектрических преобразований в рудоносных структурах и рудных телах. //Исследования в области геофизики. М.: ОИФЗ РАН, 2004. С. 202-216.
- Майбук З.-Ю.Я. Триггерный механизм нелинейных механоэлектрических преобразований в орудененных разломах. // Физика Земли. РАН. М. Наука. 2006. №10. С. 51-64.
- Нейштадт Н.М., Мазенова З.В., Биневич Л.Я., Суворов Н.Д., Поляков М.В. Методические рекомендации по пьезоэлектрическому методу разведки. Л. Рудгеофизика. 1984.
- Соболев Г.А., Демин В.М., Майбук З.-Ю.Я. Радиоимпульсный метод поиска и разведки рудных полезных ископаемых. //Физика горных пород при высоких давлениях. М. Наука, 1991. С. 200-209.

## НЕЛІНІЙНА ВЗАЄМОДІЯ ПРУЖНИХ ХВИЛЬ З ПОЛІМЕТАЛЕВИМИ ЗРУДЕНІННЯМИ

З.-Ю.Я. Майбук

У процесі досліджень у поліметалічних зруденіннях виявлено явище нелінійного механоелектричного перетворення при проходженні пружних хвиль звукового діапазону частот. Енергія, що виділяється у вигляді електромагнітних імпульсних сигналів радіохвильової частоти може багаторазово перевершувати енергію активації пружними хвилями. У породах такі процеси не зареєстровані. Розроблено метод розвідки поліметалевих і золотосульфідних руд.

**Ключові слова:** нелінійне механоелектричне перетворення; пружні хвилі; зруденіння; напружено-деформувальний стан; поліметали, методи розвідки.

## NONLINEAR CORRELATION OF ELASTIC WAVES WITH POLYMETALLIC MINERALIZATION

Z.-Yu.Majbuk

During investigations in polymetallic mineralization was stated the effect of nonlinear mechanic-electric transformation during passing of elastic waves in the sound frequency range. Emitted energy, as radio-range signal electromagnetic pulses, can increase manifold an energy of activation by elastic waves. Such processes were not registered in enclosing rocks. The method of polymetallic and golden minerals survey was developed.

**Key words:** nonlinear mechanic-electric transformation, rocks deflected mode, polymetals,

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ИФЗ РАН), Россия, г. Москва*