

## ПРОЦЕСС ЛОКАЛИЗАЦИИ ЕП ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Экспериментальные исследования на разломных зонах полиметаллических рудопроявлений показали эффективность контроля изменения напряженно-деформируемого состояния массива горных пород путем наблюдения и анализа поведения вариаций естественных электрических полей (ЕП). Применение 4-х электродного компенсированного метода регистрации ЕП повышает чувствительность и помехозащищенность измерений локальных сигналов на фоне значительных естественных и техногенных помех. Методом могут выделяться участки неустойчивого повышенного механического напряжения.

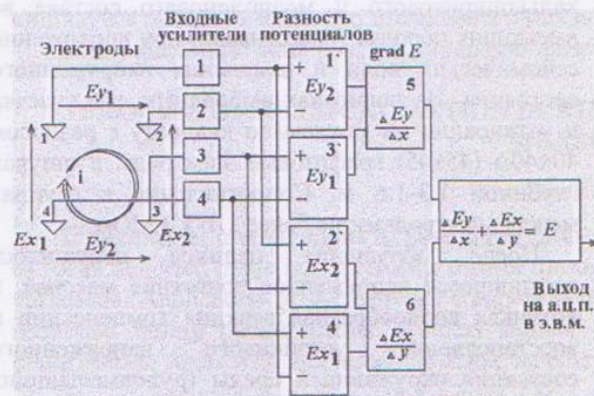
**Ключевые слова:** зона разлома; естественные электрические поля; 4-х электродный метод регистрации.

При исследованиях электрических процессов в Земле, большое внимание уделяется изучению вариаций естественного электрического поля (ЕП) при изменении напряженно-деформируемого состояния массива горных пород. В 1970–80х годах активно велись исследования ЕП как предвестника землетрясений [Соболев Г. А., Демин В. М., 1980]. Несовершенная помехозащищенная аппаратура не позволяла оперативно вести анализ информации и регистрировать слабые сигналы.

Известно, что природные преобразования, отражающиеся в ЕП, могут служить индикатором глубинных процессов в недрах Земли недоступных для непосредственного изучения горными выработками и скважинами.

Основная сложность – выделение полезных сигналов ЕП на фоне многочисленных помех существенно превышающими их по амплитуде техногенными помехами, полями геомагнитного и грозового происхождения частично была преодолена при помощи методики и аппаратуры 4-х электродной системы регистрации [Крылов С.М., Майбук З.-Ю.Я., 2003].

Поскольку средний уровень вариаций полезных сигналов ЕП составлял <3-4 мВ на приемных электродах с разномом более 10 м, а уровень помех превышал эти сигналы в разы, то изменили методику регистрации (рис. 1).



**Рис.1.** Блок – схема вариометра ЕП-4 ( $E_{x1}$ ,  $E_{x2}$ ,  $E_{y1}$ ,  $E_{y2}$  – приемные электроды)

Сигналы ЕП регистрируют четырех-электродной схемой. Электроды  $E_{x1}$ ,  $E_{x2}$ ,  $E_{y1}$ ,  $E_{y2}$  размещаются по углам квадрата на поверхности либо внутри массива горной породы (проводящей среды). Принятые электродами и усиленные входными усилителями сигналы подаются на входы схем вычисления разности потенциалов (между первым и вторым, вторым и третьим, третьим и четвертым электродами) так, чтобы усилители подсоединялись не инвертирующими входами (к предыдущим по счету) выходам входных усилителей, а инвертирующими входами - к последующим выходам. Кольцо изменений замыкается при соединении инвертирующего входа четвертого операционного усилителя с выходом первого предварительного усилителя.

В итоге получаем с электродов четыре усиленных значения разностей потенциалов (значения электрического поля  $E_{x1}$ ,  $E_{x2}$  и  $E_{y1}$ ,  $E_{y2}$ ), причем две пары одноименных компонент поля могут соответствовать разно - или однополярным сигналам в зависимости от типа возмущения в геологической среде.

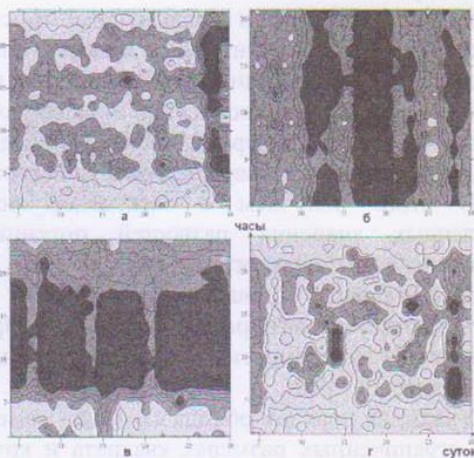
Учитывая порядок обхода «кольца» изменений при ограниченных размерах квадрата и крупномасштабных возмущениях поля, амплитуды электрического поля  $E$  на параллельных сторонах квадрата будут практически идентичными, в результате чего сигналы будут разнополярными на соответствующих парах ( $E_x$  и  $E_y$  - выходов вычисления разностей потенциалов) при близости их абсолютных значений. При мелкомасштабных (локальных) процессах возмущений  $E$ , силовые линии могут либо менять свое направление на обратное внутри зоны измерений, либо покинуть ее. В таком случае сигналы будут однополярными.

Отмечена нечувствительность прибора к крупномасштабным возмущениям поля (электрической компоненте геомагнитных колебаний, грозовых сигналов и большей частью техногенных помех), уменьшение, по меньшей мере, на порядок аппаратурных шумов, дрейфа и смещения нуля.

Исследования ЕП проводились в разных условиях - в спокойных сейсмотектонических

условиях (Обнинский сейсмологический полигон) и на двух полиметаллических месторождениях (Алтай и Приморский край) при нарушении напряженно-деформируемого состояния горного массива в результате обрушения значительного объема породы. Все работы велись во взаимосвязи с сейсмическими, акустическими, переменными геомагнитными полями, приливными силами и метеорологическими факторами.

В Обнинске провели долговременные (более двух лет) наблюдения за поведением ЕП природного происхождения от локальных зон горной породы в условиях поверхности и шахты с разномом электродов по квадратам соответственно 7x7 и 45x45 м. (использовали по три комплекта графитовых электродов  $S = 200 \text{ см}^2$ ,  $R = 600-800 \text{ Ом}$  в шпурах глубиной 1.7м для уменьшения температурного дрейфа). Перед началом работ на всех электродах компенсировались (сдвигом 0) исходные сигналы ЕП до уровня менее 0.05 мВ что позволило на некоторых участках регистрировать вариации сигналов ЕП амплитудой от 0.1-0.2 мВ в полосе частот 0 – 20 Гц.



**Рис. 2.** Распределение сигналов на Обнинском полигоне:

а – градиент СНЧ ЭМИ (индукционные магнитометры), б – геомагнитная активность Земли (данные ИЗМИРАН), в – электромагнитный фон (естественный и техногенный), г – естественное электрическое поле (ЕП-4)

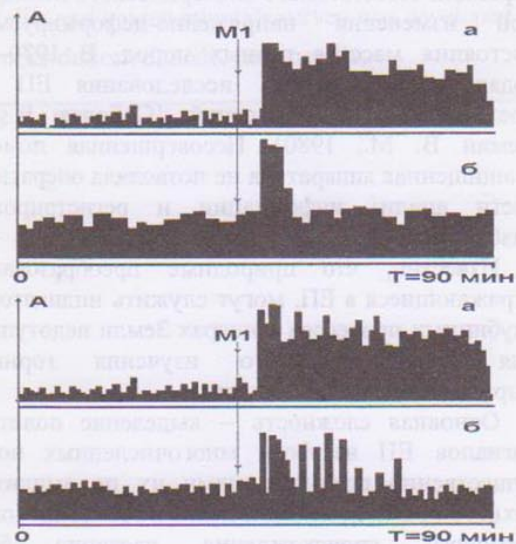
Исследовались вариации сигналов в локальных областях измерений. Упругие волны на полигонах контролировалось сейсмоприемниками типа СМ-3 (диапазон частот 0.3 - 14 Гц).

Эксперименты проводились в горной породе, представляющей собой разрушенный известняк, чередующийся с линзообразными прослойками ожелезненной глины, супесей и песков. На глубине более 40 метров - зоны плотных известняков. Регистрировались ЕП во взаимосвязи со сверхнизкочастотными магнитными сигналами. Прием сигналов осуществлялся градиентным методом ( $\text{grad } T$ ) парами идентичных индукци-

онных магнитометров установленных с разномом 34 м ориентированных в пространстве по оси «Z» [Крылов С.М., Никифорова. НН., 1995].

Сигналы ЕП поступали на вход предварительных усилителей и далее по экранированных кабельным линиям (крученые пары) на основной усилитель с  $K_y=1000$  и емкостным переходом с постоянной времени  $2\pi RC=90\text{с}$  и фильтром низкой частоты с границей 20 Гц. Усиленные и оцифрованные сигналы ЕП поступали на регистрацию (рис.3).

В Алтае и Приморском крае провели исследования вариаций ЕП при изменении напряженного состояния после обрушения соответственно 1200 и 400 т горной породы (рис.3, 4). Методика исследований на всех участках работ идентична.



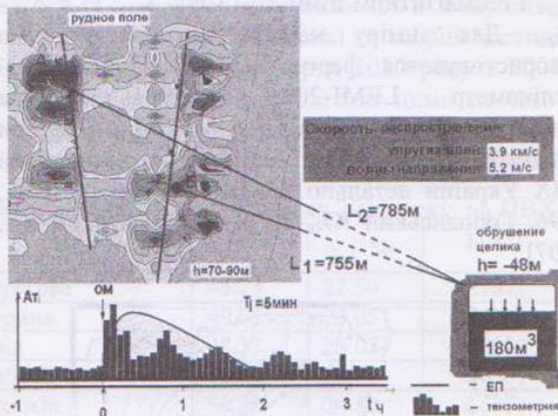
**Рис.3.** Приморский край.

Гистограммы активности ЕП (а) и град. СНЧ ЭМИ (б). M1 – время обрушение целиков.

Проводились экспериментальные исследования поведения вариаций локальных квазипостоянных естественных электрических полей (ЕП) в полиметаллических рудах сфалерит-галенит-халькопиритового и молибденового состава во вмещающих породах (известняках) при прохождении сейсмических волн и изменения напряженного состояния. На полигонах выбрали по три участка и установили на каждом по квадрату с разномом 40x40м (45x45) графитовые электроды в шпурах глубиной 1.3-1.6 м. Сопротивление в группах между электродами не более 1.1-1.3 МОм.

После обрушения целиков нарушилось сложившееся напряженное состояние массива, и возникла волнообразная реакция компенсации и восстановления устойчивого напряженного состояния окружающей среды (рудовмещающих горных пород). Возникшая волна напряжения (ВН) до зоны исследований дошла в виде 6 видимых колебаний с частотой 0.07-0.08 Гц. Измерения напряжений велись тензометрическим

устройством, включенным между двумя бортами разлома. База измерений – 348мм. Время прихода ВН составило 150с (средняя скорость ВН =5.23 м/с, упругих волн =3.9 км/с). Фронт ВН имеет плавное вступление (рис. 4). Если в спокойных условиях Обнинского полигона регистрировались сигналы ЕП связанные с мощными техногенными событиями, магнитными бурями и ближними грозами, то на полиметаллических месторождениях после обрушения целиков возникали четкие аномалии, превышающие фон в 2-2.5 раза. Значительные вариации ЕП наблюдались в течение 3-4 суток (рис. 3) и 2-2.5 часов (рис. 4). Разброс амплитуд ЕП на разных участках рудного полигона достигал 60-70%.



**Рис.4.** Алтай. Схема участка работ и реакция ЕП на изменение напряженного состояния полиметаллического оруденения

В лабораторных исследованиях вариации ЕП (с установкой 4-х электродной схемы измерений) характеризуют процессы микро разрушения и накопления дефектов в образцах горных пород и руд при медленном нагружении и нарушении квазипостоянного неоднородного напряженного состояния.

В настоящее время характер взаимодействия ЕП с механоэлектрическими полями в зависимости от изменения напряженно-деформируемого состояния массива горных пород слабо изучены.

Дальнейшие комплексные исследования помогут изучить динамические и кинематические характеристики ЕП, сопоставляя их с поведением других физических явлений наблюдаемых в локальной области литосферы.

#### Литература:

- 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.
- Крылов С.М., Никифорова. Н.Н. О сверхнизкочастотном электромагнитном излучении активной геологической среды // М. Физика Земли. 1995. № 6. С. 42-57.
- Крылов С.М., Майбук З.-Ю.Я. Измеритель ротора электрического поля.// Сейсмические приборы. Вып. 39. –М.: ОИФЗ РАН, 2003. –84 с. С.28-35.
- Соболев Г. А., Демин В. М. Механоэлектрические явления в Земле. М. Наука, 1980. 215 с.

### ПРОЦЕС ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПП ПРИ ЗМІНІ НА ПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГІРСЬКИХ ПОРІД

З.-Ю.Я. Майбук

Експериментальні дослідження на розломних зонах поліметалічних рудопроявів показали ефективність контролю зміни напружено-деформованого стану масиву гірських порід шляхом спостереження і аналізу поведінки варіацій природних електричних полів (ПП). Застосування 4-х електродного компенсованого методу реєстрації ПП підвищує чутливість і завадозахищеність вимірювань локальних сигналів на тлі значних природних і техногенних завад. Методом можуть виділятися ділянки нестійкого підвищеного механічного напруги.

**Ключові слова:** зона розлому; природні електричні поля; 4-х електродний метод реєстрації.

### PROCESS OF NF LOCALIZATION DURING ROCKS DEFLECTED MODE VARIATIONS MEASUREMENTS

Z.-Yu. Majbuk

Experimental investigations of fault zones in the polymetallic indications zone had shown the effectiveness of rocks deflected mode measurements control through observations and analysis of natural electric fields (NF) variations. Application of 4-electrodes compensated method of NF registration upraises sensitivity and noise reduction during measurements of local signals on the background of significant natural and artificial disturbances. Areas with increased non-stable mechanical tensions can be defined with this method.

**Key words:** fault zone; natural electric fields; 4-electrodes compensated method registration.