

УДК 550.8 (574)

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ РУД АЛТЫНТАУСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Портнов В.С., Маусымбаева А.Д., Турсунбаева А.К., Хамитова А.С.,  
Камаров Р.К., Мехтиев А.Д.**

*Карагандинский государственный технический университет –  
вуз Первого Президента РК, Караганда, e-mail: kargtu@kstu.kz*

Рассмотрены элементарные возбуждения в породах и рудах как система невзаимодействующих частиц для получения зависимости изменения электрических свойств от прочностных характеристик пород и руд. Использование зависимостей позволяет определять необходимые параметры для планирования горных работ с целью обеспечения качества руды, снижения объемов опробования скважин в безрудных участках. Рассмотрена методика построения сортовых планов по слоям уступа для оконтуривания рудных и породных участков горизонтов карьера, оценки содержания рудных минералов, планирования способа отработки и взрывных работ. Сортные планы по слоям уступа дают возможность планировать горные работы еще до бурения и опробования взрывных скважин.

**Ключевые слова:** вертикальное электрическое зондирование, сортные планы

## PROCESS MAPPING OF RESOURCES OF ALTYNTAU DEPOSIT

**Portnov V.S., Maussymbayeva A.D., Tursunbaeva A.K., Khamitova A.S.,  
Kamarov R.K., Mehtiev A.D.**

*Karaganda state technical university – School of The First President of the Republic of Kazakhstan,  
Karaganda, e-mail: kargtu@kstu.kz*

We consider the elementary excitations in minerals and ores as a system of noninteracting particles to obtain the variation of electrical properties on the strength characteristics of rocks and ores. Using the dependencies allow you to define the parameters required for mine planning in order to ensure the quality of the ore, reducing the volume of test wells in the barren areas. We consider the method of construction variational plans on layers of the echelon for delineating ore and rock sites horizons of open cast, ore mineral content evaluation, planning methods of mining and blasting. Variational plans on layers of the echelon provide an opportunity to plan mining operations before drilling and testing of blast holes.

**Keywords:** vertical electrical sounding, variational plans

Руды месторождения Алтынтау относятся к золото-сульфидно-кварцевой формации и представлены самородным золотом, самородным висмутом, галенитом, пиритом, марказитом, арсениопиритом, халькопиритом, висмутином, блеклой рудой; нерудными – кварцем, серицитом, хлоритом, турмалином, кальцитом. Самородное золото на месторождении тонкодисперсное. Размер зёрен колеблется от десятых долей микрометра до 120 мкм, основная масса выделений имеет размеры 4–14 мкм [2].

Для получения зависимости изменения электрических свойств от прочностных характеристик пород и руд рассмотрим элементарные возбуждения в минерале или поверхностном слое как систему невзаимодействующих частиц. Квантовые переходы, обусловленные взаимодействием элементарных диполей, будут с вероятностью  $P$  диссипативными, в результате вторичное поле всегда меньше первичного. Поскольку система диполей обменивается с вмещающей средой только энергией, то

соответствующий ансамбль частиц будет каноническим. Выражение для статистической энтропии имеет вид:

$$P = \frac{2\Delta S}{k\tau} \exp\left\{-\frac{E_m - G^0/N}{kT}\right\}, \quad (1)$$

где  $\Delta S$  – изменение энтропии;  $E_m$  – среднее значение энергии основного состояния диполей;  $\tau$  – время релаксации;  $G$  – энергия Гиббса вмещающей руды. Отсюда:

$$\Delta S = \frac{\nu k \tau}{2} \exp\left(-\frac{E_m + E_a - G^0/N}{kT}\right). \quad (2)$$

При наложении внешнего электромагнитного поля ( $E$ ) на систему электрических диполей, связанную с рудной компонентой горной породы, имеем:

$$\Delta S = \frac{Ne(\Delta E)^2}{2kT^2}, \quad (3)$$

где  $e$  – заряд электрона;  $N$  – число диполей.

Проводимость  $\sigma$  или удельное сопротивление  $\rho = 1/\sigma$  определяется:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = Q \frac{kT}{G^0} c_{\text{п}}, \quad (4)$$

где  $Q = \frac{2N_A \sqrt{k}}{e \cdot 100 \%}$ ;  $N_A$  – число Авогадро;

$k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура;  $c_{\text{п}}$  – концентрация компонента. Для электрической аномалии:

$$\Delta E = Q \cdot \sqrt{TG^0} \cdot c_{\text{п}}. \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) показывают связь измеряемых электрических величин с концентрацией полезного компонента и электрических параметров через энергию Гиббса. Если учесть, что  $G^0 = H - TS + PV$ , то:  $H$  – энтальпия отражает степень метаморфизма минералов;  $S$  – энтропия описывает степень беспорядка;  $T$  – характеризует температуру образования минерала;  $P$  – давление пропорционально твердости минерала [1].

Изучение закономерностей изменения удельного электрического сопротивления ( $\rho_k$ ) от объемного содержания рудных минералов проведено вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) с симметричной установкой Шлюмберже до глубины 7,5 м, на которую проводилось бурение разведочных и взрывных скважин. По керну и шламу скважин определены объемные концентрации рудных минералов, а по паспортам прочности  $\sigma_{\text{ск}}$  и твердость по шкале М.М. Протодьяконова. Результаты исследований свидетельствуют о корреляции  $\rho_k$  с объемной концентрацией сульфидных (рудных) минералов  $V$  (корреляционное отношение  $R^2 > 0,97$ ) (рис. 1), а также с твердостью пород (рис. 2). Установлены закономерности изменения прочности пород от их плотности (рис. 3) и  $\rho_k$  от энергии Гиббса, составляющих ее минералов (рис. 4). Погрешности определений объемной концентрации по уравнениям составляют  $\pm 9,3\%$  отн., а прочностных характеристик  $\pm 8,6\%$  отн [5].

Используя зависимости, определяются необходимые параметры для планирования горных работ с целью обеспечения качества руды снижения объемов опробования скважин в безрудных участках. Крепость, прочность от  $\rho_k$ , энергии Гиббса минералов оцениваются из уравнений (рис. 3–5) [1].

Сложное геологическое строение месторождения является предпосылкой селективно-валовой отработки рудной зоны. Практика эксплуатационной разведки и горных работ показала прерывистость и неравномерное распределение золотого оруденения, отсутствие визуальных границ рудных тел, наличие значительного

количества участков некондиционных руд и пустой породы внутри сортовых контуров балансовых руд. При этом возрастает роль управления качеством рудопотока, где решаются – задачи выбора оптимальных граничных содержаний в добываемой руде, определения оптимального уровня потерь и разубоживания; выбора направляющих разубоживания горных работ, обеспечивающих руду с заданным стабильным уровнем качества.

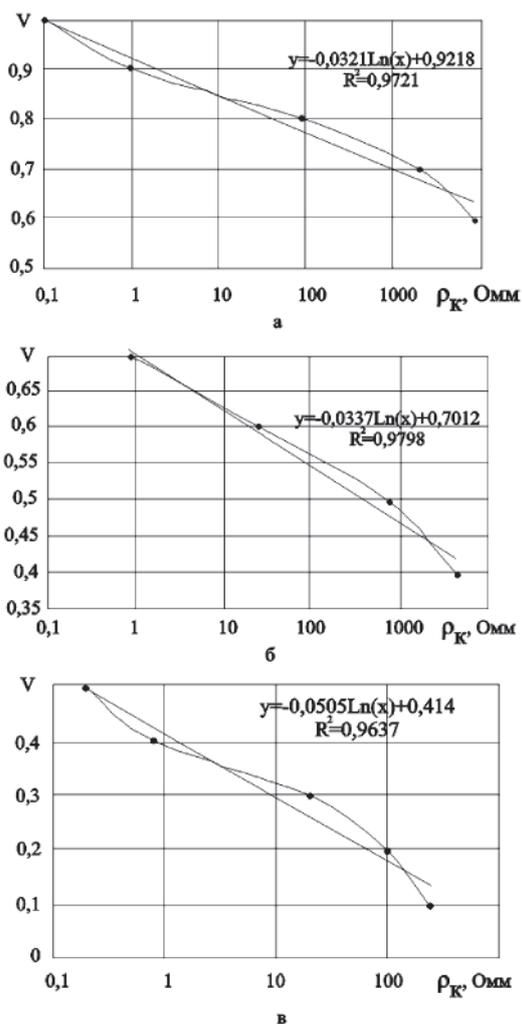


Рис. 1. Зависимость удельного электрического сопротивления от объемного содержания рудных минералов: среднезернистые кварцевые диориты (а); гранит-порфиры (б); окисленные руды (в)

Управление качеством добываемой руды и в отгружаемой на ЗИФ реализуются изменением количества рудных забоев. Горные работы в блоках основной добычи обеспечивают суммарную производительность. Колебания качества погашаются за счет стабилизирующих блоков. Основой для селективного способа отработки блока или участка рудной зоны является послой-

ный (2,5 м) сортовой план, составленный по результатам эксплуатационной разведки (рис. 5) [3].

На флангах рудной зоны и в морфологически сложных участках блока опробование 7,5-метрового уступа осуществляется отдельно: одна проба на интервал 2,5 м.

Оконтуривание рудных и породных участков горизонтов карьера, некондиционных руд и пустой породы, оценка со-

держания рудных минералов, планирование валовой или селективной отработки, взрывных работ, осуществляется на основе сортовых планов, построенных по измерениям кажущегося удельного электрического сопротивления ( $\rho_k$ ) и кажущейся вызванной поляризации ( $\eta_k$ ). Съемка  $\rho_k$  и  $\eta_k$  проводится с целью изучения геологического разреза послойно на глубину уступа [4].

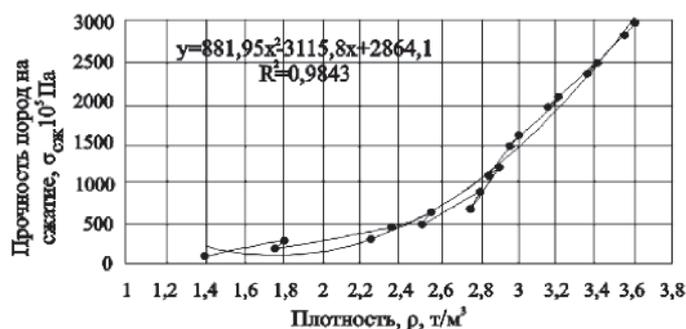


Рис. 2. Зависимость крепости руд и удельного сопротивления

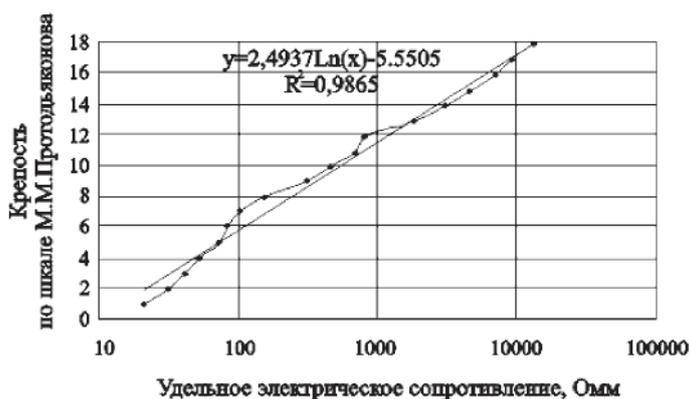


Рис. 3. Зависимость прочности пород на сжатие руды с ее плотностью

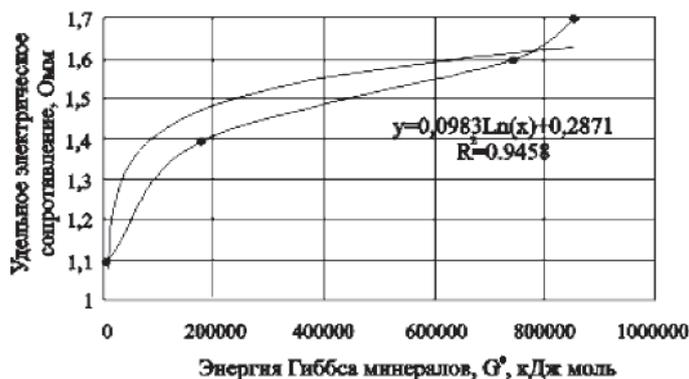


Рис. 4. Зависимость удельного сопротивления от энергии Гиббса между центрами питающего и измерительного диполей 2 Н. Затем диполь АВ

Методика работ заключается в измерении разности потенциалов между электродами MN = 10 м приемного диполя последовательно удаляющегося от питающего

диполя АВ = 10 м в соответствии с шагом съемки 5 м. Для получения информации о  $\rho_k$  и  $\eta_k$  необходимо достичь расстояния до глубины H.

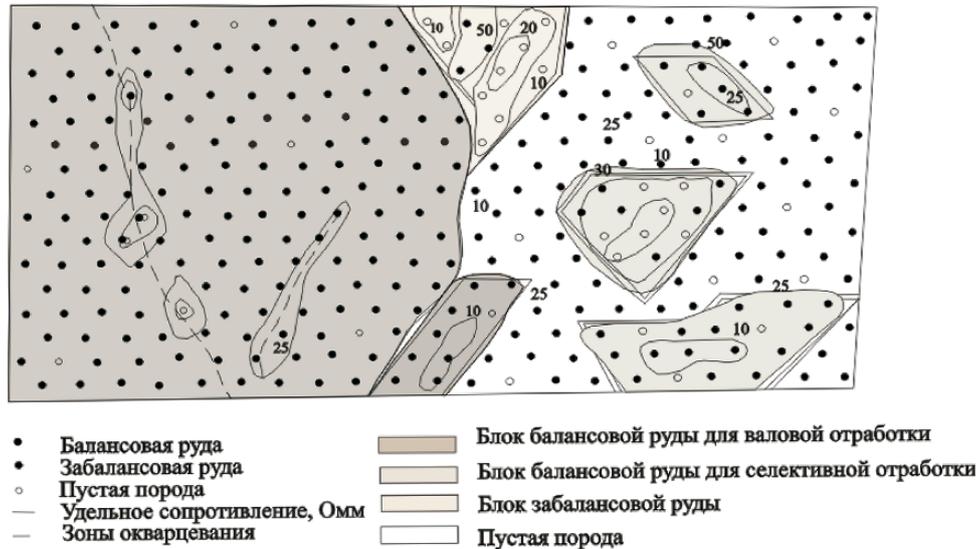


Рис. 5. Сортовой план Алтынтауского месторождения +167 горизонт, блок 43

Методика работ заключается в измерении разности потенциалов между электродами  $MN = 10$  м приемного диполя последовательно удаляющегося от питающего диполя  $AB = 10$  м в соответствии с шагом съемки 5 м. Для получения информации о  $\rho_k$  и  $\eta_k$  до глубины  $H$  необходимо достичь расстояния между центрами питающего и измерительного диполей  $2H$ . Затем диполь  $AB$  переносится на новую стоянку с шагом 10 м и измерения повторяются. При высоте уступа, равного 7,5 м, максимальное удаление приемного диполя от питающего при шаге 5 м составляет 15 м. При проведении работы методом ВЭЗ на два или три уступа (до глубины 15 и 22,5 м), расстояние между  $MN$  и  $AB$  должно быть равно 30 и 45 м. Длительность импульса тока составляет  $I = 1,6$  с, время измерения напряжения пропускания  $U_{\text{П}} = 125$  с, время измерения напряжения ВП  $U_{\text{ВП}} = 0,0437$  с. Удельное электрическое сопротивление и вызванная поляризуемость определяются с использованием известных формул. Результаты измерений подтверждают четкую закономерность изменения  $\rho_k$  и  $\eta_k$  от минерального состава рудных тел [5]. Рудные тела имеют низкое  $\rho_k$  (10–20 Ом·м) и  $\eta_k$  (7–8%). Вкрапленные руды выделяются более высоким сопротивлением порядка (30–80 Ом·м) и поляризуемостью 9–12%.

Тектонические нарушения, зоны дробления пород на картах  $\rho_k$  выделяются сопротивлением 50–100 Ом·м, поляризуемостью 2–3%, что является признаком их выделения. Интервалы окварцевания, интрузий характеризуются высоким  $\rho_k$  и низким, 1–2%,  $\eta_k$ . Для разделения аномалий  $\rho_k$  и  $\eta_k$  на рудные и безрудные использован металл-фактор [2].

По результатам измерений  $\rho_k$  и  $\eta_k$  с использованием программ RES2DINV<sup>®</sup> фирмы GEOTOMOSOFTWARE, строятся двумерные (2-D) геоэлектрические модели по профилям наблюдения по сопротивлению и поляризуемости среды. Исходя из связи % с рудными телами, вкрапленными и прожилково-вкрапленными рудами, установлена большая точность определения границ тел ( $\pm 2,12\%$ ) как по глубине и площади. Привязка измерений к планам горизонтов карьера выполняются тахеометром Leica-407 и с помощью программы MapInfo (рис. 6).

Для построения сортовых планов на глубину 2,5; 5,0; 7,5 м применялись симметричные четырехэлектродные градиент-установки типа Шлюмберже с аппаратурой «МЭРИ-24». Частота питания  $AB$  (156,3; 312,5 Гц) позволила исключить влияние скин-эффекта. Разнос питающих и измерительных электродов, на точке зондирования равен: А5М2Н5В, А10М2Н10В, А10М5Н10В, А15М5Н15В, А20М10Н20В, А30М10Н30В, А30М20Н30В, А50М20Н50В. Шаг зондирования 5 м, расстояние между профилями 5 м. Интерпретация кривых ВЭЗ основывалась на минимизации среднеквадратической невязки между теоретической и экспериментальной кривыми. Среднеквадратическая погрешность составила  $\pm 3,4\%$ .

Для определения объемного содержания рудных элементов используются уравнения, графики зависимости которых приведены на рис. 2, 3, при этом интегральная характеристика  $\rho_k$  и  $\eta_k$  для слоя 2,5 м строится по данным измерений дудипольной установки с расстоянием между центрами диполей 5 м, для слоя 2,5 м – 5,0 м, и для 7,5 м – 15 м, а для установки Шлюмберже

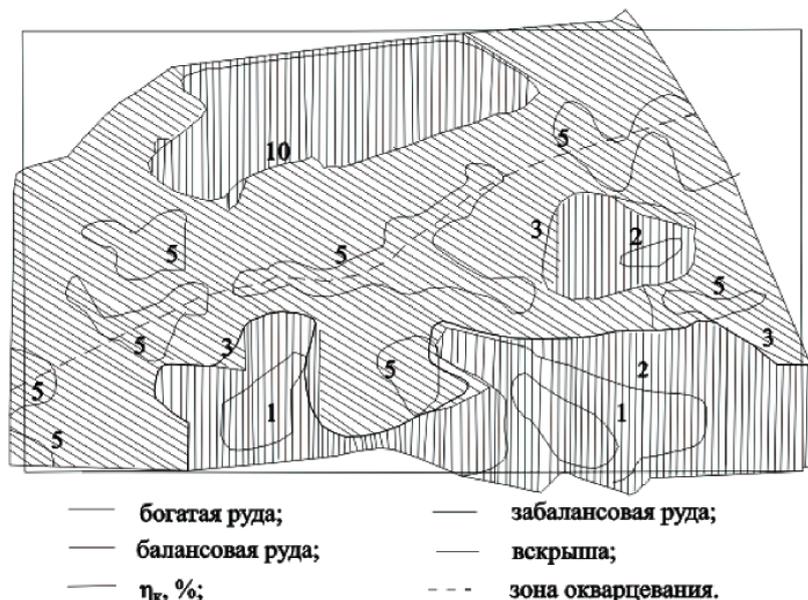


Рис. 6. Сортовой план Алтынтауского месторождения +160 горизонт, блок 39 A10M5N10B, A15M5N15B и A20M10N20B

Прочностные характеристики слоев оцениваются из корреляционных уравнений (рис. 5, 6). Запасы рудных минералов (руды)  $M$  определяются с учетом площади  $S$  аномалии  $\rho_k$  или высоты уступа  $H$  (подступа) и плотности руд,  $\rho$  м<sup>3</sup>/т [4].

Сортковые планы по слоям уступа дают возможность планировать горные работы еще до бурения и опробования взрывных скважин. В том случае если послонные карты аномалий  $\rho_k$  и свойственные рудным интервалам не изменяются с глубиной, то возможна валовая отработка, если же имеются изменения, то необходима селективная выемка руды с учетом этих изменений. Пробирное опробование содержания золота по интервалам взрывных скважин планируется исходя из этих особенностей. На участках послонных сортковых планов со значениями высокого  $\rho_k$  и низкой  $\eta_k$ , характерных для вмещающих пород, пробирное определение золота может производиться только на границах перехода (руда-порода) и в контрольных скважинах, что сокращает значительный объем этих анализов.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований МОН РК. Грант 1034 ФИ.

#### Список литературы

1. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых / В.С. Портнов, А.Е. Воробьев, А.К. Турсунбаева, А.Д. Маусымбаева, В.М. Юров. – Караганда: Издательско-полиграфический центр Казахстанско-Российского университета, 2010. – 426 с.
2. Портнов В.С., Маусымбаева А.Д. Комплекс геофизических методов оценки качества руд благородных и цветных металлов при эксплуатации месторождений. – Караганда,

Издательско-полиграфический центр Казахстанско-Российского университета, 2010. – 160 с.

3. Портнов В.С., Маусымбаева А.Д., Турсунбаева А.К. Опробование и технологическое картирование железорудных месторождений геофизическими методами // Актуальные вопросы науки и образования. – 2010. – 10 с.

4. Портнов В.С., Турсунбаева А.К., Шугаипов А.Г. Геофизическое опробование управления качеством руд. – Караганда: Издательство КарГТУ, 2009. – 207 с.

5. Сытенков В.Н., Федянин А.С. Применение геофизических методов исследования при открытой разработке сложноструктурных золоторудных месторождений // Горный журнал // 40 лет карьере «Мурунтау» центрального рудоуправления НГМК. – 2007. – № 5 – С. 67–70.

#### References

1. Portnov V.S., Vorobiev A.E., Tursunbayeva A.K., Maussymbayeva A.D., Yurov V.M. Geotechnological methods of extraction of mineral resources. Karagandy, Publishing and printing center of the Kazakhstan-Russian University, 2010. 426 p.
2. Portnov V.S., Maussymbayeva A.D. The complex of geophysical methods to assess the quality of ores of precious and nonferrous metals in the deposits. Karagandy, Publishing and printing center of the Kazakhstan-Russian University, 2010. 160 p.
3. Portnov V.S., Maussymbayeva A.D., Tursunbayeva A.K. Assaying and mapping technology of iron ore deposits by geophysical methods // Actual problems of science and education. 2010. 10 p.
4. Portnov V.S., Tursunbayeva A.K., Shugaipov A.G. Geophysical testing of ores quality control. Karagandy, KSTU Publishing center, 2009. 207 p.
5. Sytenkov V.N., Fedyanin A.S. Application of geophysical methods for the development of open complex structure of gold deposits // Mining magazine // 40 years of his career «Muruntau» central mining administration NMSC. 2007. no. 5 pp. 67–70.

#### Рецензенты:

Ходжаев Р.Р., д.т.н., профессор, директор Научно-инженерного центра «ГЕОМАРК», г. Караганда;

Данияров Н.А., д.т.н., профессор, заместитель директора КазНИИ по безопасности работ в горной промышленности, г. Караганда.

Работа поступила в редакцию 30.12.2011.