

21. *Tursunbaeva A.K., Portnov V.S., Yurov V.M.* Thermodynamics of ore crushing at the compact alkaline extraction of metals. — P. 1–3 // Bulletin ENU of L.N.Gumileva, Naturally-engineering science series. — 2010. — № 4 (77). — P. 49–80.
22. Physical properties of rocks and minerals: the Directory geophysicist / Under N.B.Dortman's edition. — M.: Bowels, 1984. — 455 p.
23. *Rebinder P.A., Shrejner L.A., Zhivach K.F.* The hardness reducers at drilling. — M.: Publishing house AN of the USSR, 1944. — 232 p.
24. *Bershtejn V.A.* Mechanical hydraulic processes and durability of firm bodies. — L.: Science, 1987. — 318 p.
25. *Hochstein A.J.* A surface tension of firm bodies and adsorption. — M.: Science, 1976. — 256 p.
26. *Roldugin V.I.* Surface physical chemistry. — Dolgoprudnyy: The Publishing House «Intellect», 2008. — 568 p.
27. *Jurov V.M., Eshchanov A.N., Kuketaev A.T.* The measurement method of the surface tension of firm bodies // Patent RK. № 57691. It is published 15.12.2008. The bulletin № 12.
28. *Jurov V.M., Portnov V.S., Puseeva M.P.* The measurement method of the surface tension and density of the surface conditions of dielectrics // Patent RK № 58155. It is published 15.12.2008. The bulletin № 12.
29. *Jurov V.M., Portnov V.S., Puseeva M.P.* The measurement method of the surface tension of magnetic materials // Patent RK № 58158. It is published 15.12.2008. The bulletin № 12.

УДК 548.736.5

Использование физических свойств минералов для оценки запасов полезных ископаемых

Use of physical properties of minerals for an estimation of minerals stocks

Выжва С.А.¹, Юров В.М.², Портнов В.С.³, Рева М.В.¹

¹Киевский национальный университет им. Т.Г.Шевченко, Украина (E-mail: MVREVA@union.KIEV.UA);

²Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: exciton@list.ru);

³Карагандинский государственный технический университет (E-mail: umo@kstu.kz)

Мақалада тепе-теңдіксіз термодинамика және скалярлық өрістердің аналогиясы әдістері қолданылған. Минералдардың физикалық қасиеттері мен термодинамикалық параметрлерді байланыстыратын формула табылды. Минералдардың физикалық қасиеттері мен оның кен орнының бірлік көлеміндегі құрамы арасында байланыс анықталды. Есеппен анықталған пайдалы қазбаның қоры барлау нәтижелерімен сәйкес келді. Оларды салыстыру теориялық және эксперименттік нәтижелердің үйлесімдігін көрсетті.

The methods of nonequilibrium thermodynamics and the method of analogies of scalar fields are used in the article. The formulas for relating of physical properties of minerals with their thermodynamic parameters are deduced. It is determined the link between physical properties of the mineral and its content into the volume unit of the deposit. Calculations are conducted for magnetic, electric, thermal and other properties of minerals. The calculated stocks of minerals of some deposits are compared with the explored reserves. The comparison shows the good agreement between the theoretical and experimental data.

Введение

Поиски большинства полезных ископаемых чаще всего ограничивались открытием месторождений по видимым ореолам рассеяния и другим визуально наблюдаемым поисковым признакам. Фонд таких «легко открываемых» месторождений быстро сокращается. Наряду с этим в последнее время становится очевидным наличие огромного количества так называемых «трудно открываемых» месторождений. Ориентировочные расчеты показывают, что общий фонд трудно открываемых месторождений по большинству полезных ископаемых во много раз превышает ресурсы легко открываемых месторождений. К этому нужно добавить, что запасы руд открытых и даже эксплуатируемых месторождений могут существенно превышать разведанные.

В связи с этим и ранее, и в настоящее время появляются работы, связанные с оценкой запасов полезных ископаемых как на региональном уровне, так и в мировых масштабах.

Количественная оценка прогнозных запасов полезных ископаемых в месторождениях — важнейшая проблема прикладной геологии. Важные работы в этом направлении принадлежат таким учё-

ным, как С.Дж. Ласки, А.М.Марголину, Н.И.Сафронову, Г.А.Булкину и ряду других. Наиболее близким к предложенному нами в настоящем исследовании методу является метод Н.И.Сафронова.

В настоящей работе рассмотрены вопросы использования физических свойств минералов для оценки прогнозных запасов полезных ископаемых.

Магнитные свойства минералов и запасы железорудных месторождений

В работе [1] с целью анализа влияния различных факторов на результаты магнитных измерений предложена физическая модель магнитного железосодержащего минерала с использованием методов статистической неравновесной термодинамики. В этой модели атомы железа, связанные с магнетизмом (в общем случае с любым магнитным минералом), рассматриваются как система взаимодействующих магнитных диполей, погруженная в термостат (рудовмещающие породы). Квантовые переходы, обусловленные взаимодействием магнитных диполей с термостатом, будут диссипативными (с вероятностью P), в отличие от взаимодействия с внешним магнитным полем (с вероятностью F). Диссипативные процессы приводят к тому, что вторичное поле меньше первичного. Функция отклика системы (измеряемая физическая величина — α , Э.Д.С. и т.д.) $\Phi = F/F + P$. Для вероятности диссипативных процессов получено

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

где ΔS — изменение энтропии при квантовом переходе; E_m — среднее значение энергии основного состояния магнитных диполей; τ — время одночастичной релаксации ($\tau \approx 10^{-12}$ с); \bar{N} — среднее число магнитных диполей; G^0 — энергия Гиббса термостата; k — постоянная Больцмана; T — температура.

Учитывая, что $\exp\{-E_m/kT\} \approx 1$, а $F = 1/\tau_p$, τ_p — «радиационное» время жизни возбужденного состояния ($\tau_p \approx 10^{-15}$ с), для функции отклика подсистемы магнитных диполей получаем выражение

$$\Phi = \left(1 + \frac{2\Delta S}{k} \frac{\tau_p}{\tau} \exp\left(\frac{G^0 / \bar{N}}{kT}\right)\right)^{-1}. \quad (2)$$

Если в качестве функции отклика Φ взять коэффициент отображения K , используемого в методе МИП (отношение вторичного поля к первичному), то из (2) получим

$$K = A_1 \frac{C_{Fe}^M}{G_M^0}, \quad \% \text{ абс}, \quad (3)$$

где $A_1 = kT / C$, $C = 2\Delta S\tau_p / k\tau$, $\tau_p\tau^{-1} \approx 5,4 \cdot 10^{-8}$; G_M^0 — энергия Гиббса магнетита; C_{Fe}^M — концентрация железа.

Если в качестве функции отклика взять магнитную восприимчивость, то

$$\alpha = A_2 \frac{C_{Fe}^M}{G^0}, \quad \text{ед. СИ}, \quad (4)$$

где $A_2 = A_1 \cdot d$.

Здесь d — коэффициент связи между K и α .

В основе нашего подхода при расчете запасов полезных ископаемых лежит объединение модели Н.И.Сафронова [2, 3] и модельных представлений, изложенных в работе [1]. Опуская подробности вычислений, мы будем сразу выписывать формулы для подсчета дифференцированных количеств (запасов) искомого минерала, т.е. его количества в единице объема.

В рамках развитых представлений для дифференцированных запасов металла получена следующая формула:

$$P_k = \frac{1}{\ln(q_1 \alpha)} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $q_1 = 11406$, полученное с учетом значений $\beta, C_{Fe}^M, N_A, k, T$.

Для того чтобы оценить запасы месторождения с использованием соотношения (5), необходимо знать геометрию рудных тел, их среднюю магнитную восприимчивость, объемное содержание магнетита в руде. Для большинства железорудных месторождений Казахстана и Украины эти параметры определены. Ниже, в таблицах 1 и 2, приведены рассчитанные с учетом этих данных и соотношения (5) запасы железных руд некоторых месторождений Казахстана и Украины. Из таблицы 1 видно, что

прогнозные запасы магнетитовых руд, рассчитанные по формуле (5), больше разведанных. Однако для малых, полностью разработанных месторождений прогнозные и разведанные запасы совпадают с приемлемой точностью.

Т а б л и ц а 1

Прогнозные и разведанные запасы руд магнетитового железа месторождений Казахстана

Месторождение	Прогнозные запасы руды, млн. тонн	Разведанные запасы руды, млн. тонн
Соколовское	5330	3343
Сарбайское	2108	890,3
Качарское	6005	3998
Второе (основное) рудное тело	71,87	32,733
Третье рудное тело	17,31	13,51
Куржункульское	639,3	Более 80

Прогнозные запасы Соколовского и Сарбайского месторождений в сумме составляют 7438 млн.т, а разведанные — 4233 млн.т. Н.И.Сафронов [3] считает, что объем неразведанных запасов этих месторождений составляет 3–4 млрд. тонн, что вполне согласуется с нашими результатами.

Т а б л и ц а 2

Прогнозные и разведанные запасы железорудных месторождений Украины

Месторождение	Прогнозные запасы руды, млн. тонн	Разведанные запасы руды, млн. тонн
Криворожский железорудный бассейн	3600	2180
Кременчугский железорудный район	5200	4500
Белозерский железорудный район	860	700

Для железорудных месторождений Украины существует неплохое соответствие запасов, рассчитанных по формуле (5) и разведанных (табл. 2). Украинские специалисты оценивают прогнозные запасы Криворожского бассейна в 19 млрд. т, что в сумме с разведанными составляет около 40 млрд. т против 36 млрд.т, полученных по формуле (5). Приведенные примеры говорят в пользу предложенной модели.

Наряду с ранее известными методами [2, 3] преимуществом изложенного выше метода расчета прогнозных запасов железных руд является его экспрессность при удовлетворительной точности результатов. Метод позволяет рассчитывать запасы руд в пределах площади рудного горизонта, блока, охватываемой измерениями магнитной восприимчивости руд в естественном залегании, а также делать их качественную оценку по горизонтам, определяя среднее значение магнитной восприимчивости.

Метод аналогий и поля-аналоги

В физике существует значительное количество примеров успешного использования метода аналогий, и это является предпосылкой того, чтобы придать аналогии статус одного из возможных методов научного познания. Дж. Максвелл [4] сопоставил созданную им классическую теорию электромагнетизма с гидродинамикой несжимаемых жидкостей и подчеркнул значение такого подхода в науке: «Для составления физических представлений следует освоиться с существованием физических аналогий. Под физической аналогией я понимаю то частное сходство между законами двух каких-нибудь областей науки, благодаря которому одна из них является иллюстрацией для другой».

Во многих областях техники и физики встречаются явления, представляющие собой прямые аналоги процессов в электрическом и магнитном поле. В таблице 3 показана аналогия, существующая между величинами в различных скалярных потенциальных полях.

Аналогия между величинами в потенциальных полях

Параметр	Электростатическое поле	Электрического тока поле	Магнитостатическое поле	Тепловое поле
Потенциал	Потенциал U	Потенциал U	Потенциал Ω	Температура T
Градиент	Напряженность электрического поля E	Напряженность электрического поля E	Напряженность магнитного поля H	Градиент температуры $\text{grad}T$
Постоянная, характеризующая свойства среды	Диэлектрическая проницаемость ϵ	Электрическая проводимость σ	Магнитная проницаемость μ	Температуропроводность a
Плотность потока	Электрическое смещение D	Плотность тока j	Магнитная индукция B	Плотность теплового потока q
Интенсивность источника	Плотность заряда ρ_e	Плотность тока j	Плотность магнитной массы ρ_m	Плотность источника тепла Q
Проводимость поля	Емкость C	Электрическая проводимость G	Магнитная проводимость Λ	Тепловая проводимость

Электрические свойства минералов и запасы угольных месторождений

Рассмотрим сначала гомогенную изотропную среду, которая содержит \bar{N} электронов проводимости и характеризуется термодинамическим потенциалом Гиббса G^0 . Возникновение тока плотностью j в среде является откликом системы невзаимодействующих электронов на внешнее поле и имеет вид [5]

$$\Phi = \frac{1}{1 + C_1 \exp\left\{-\frac{E_m - G^0/\bar{N}}{kT}\right\}}, \quad (6)$$

где $C_1 = 2\Delta S k \tau_p / \tau = \text{const}$ (смысл входящих в это выражение величин такой же, как и в [42]), $E_m = eE$, e — заряд электрона.

После линеаризации (6) при $\Phi = j$ получаем

$$j = \frac{kT}{C_1} \frac{eE}{G^0} \cdot \bar{N}. \quad (7)$$

Когда $\bar{N} = \text{const}$, мы из (7) имеем закон Ома в дифференциальной форме:

$$j = \sigma E, \quad (8)$$

где

$$\sigma = \frac{kT}{C_1} \frac{e\bar{N}}{G^0}. \quad (9)$$

Проводимость σ связана с удельным сопротивлением ρ соотношением

$$\rho = 1/\sigma = C \cdot G^0 / e\bar{N}, \quad C = \frac{C_1}{kT}. \quad (10)$$

Из уравнения (9) следует зависимость электропроводности минерала σ от температуры, давления, химического состава и т.д. через энергию Гиббса.

Пользуясь методом аналогий (табл. 3) для электроразведки, получим формулу типа (5), однако константа $q_2 = 155121,6$ и не совпадает с q_1 :

$$P_d = \frac{1}{\ln(q_2 \rho)} \cdot 100\%. \quad (11)$$

В таблице 4 представлены расчеты прогнозных дифференцированных запасов угля основных свит Карагандинского угольного бассейна.

Прогнозные дифференцированные запасы угля основных свит Карагандинского угольного бассейна

Свита	Удельное сопротивление, ρ (Ом·м)	Дифференцированные запасы (%)
Долинская	134,8	14,2
Тентекская	155,0	14,5
Карагандинская	145,1	14,3
Ашлярикская	86,7	13,4

Площадь Карагандинского угольного бассейна примерно равна 3600 км², глубина залегания пластов — 2200–2400 м, среднее удельное сопротивление $\rho = 130,4$ Ом·м.

Прогнозные запасы получаются равными 111672 млн. тонн, а разведанные — 60317 млн. тонн, т.е. почти в два раза больше. Частично такое расхождение связано с различием в расчетах промышленной углеплотности. Максимальная промышленная углеплотность на участках распространения всех четырех продуктивных свит составляет 103 млн. тонн на 1 км², а по кондициям 1960 г. (которые приняты сейчас) — 71 млн. тонн на 1 км², т.е. различие примерно в 1,5 раза.

Донецкий угольный бассейн был открыт в 1720-е гг. в районе нынешнего г. Лисичанска Луганской обл. Промышленное освоение началось с конца XIX в. Площадь составляет около 60 тысяч км², суммарные запасы до глубины 1800 м — 140,8 миллиарда тонн. В угленосной толще каменноугольного возраста до 300 пластов; средняя мощность рабочих пластов 0,6–1,2 м. Угли каменные марок Д — Т — 78 %, антрациты — 22 %, теплота сгорания 21,2–26,1 МДж/кг. Основные центры добычи — Донецк, Красноармейск, Макеевка, Лисичанск, Горловка, Свердловск, Ровеньки, Антрацит, Торез, Красный Луч и др.

Оценка по формуле (11) дает значение прогнозных запасов для Донецкого угольного бассейна — 460 миллиардов тонн. Такое завышенное значение показывает, что для угольных бассейнов в целом проводить расчеты по среднему значению удельного сопротивления нецелесообразно. Это связано с изменением последнего в очень широких пределах. Так, например, для антрацитов удельное сопротивление меняется от 10⁻³ до 10 Ом·м. Поэтому предлагаемый метод нужно использовать для отдельных свит, содержащих угли одной марки и имеющих примерно одинаковое сопротивление.

Использование теплофизических свойств минералов при оценке прогнозных запасов минерального сырья

На основе развитых представлений и метода аналогий для коэффициента теплопроводности минералов нами получено уравнение

$$\lambda = \frac{625\rho}{3C_2G^0} \cdot T. \quad (12)$$

В уравнение (12) входят только два параметра минерала — плотность и энергия Гиббса, которые экспериментально определены для большого количества минералов и представлены в справочниках. Для коэффициента мы получили значение $C_2=2,8 \cdot 10^{-2}$ (м²/кг с). В таблице 5 приводятся экспериментальные значения коэффициента теплопроводности, вычисленные по формуле (12).

Т а б л и ц а 5

Сравнение экспериментальных и теоретических значений коэффициента теплопроводности некоторых минералов

Минерал	$\lambda_{\text{эксп.}}$ Вт/(м·К)	ρ , кг/м ³	G^0 , Дж/моль	$\lambda_{\text{теор.}}$ Вт/(м·К)
Гипс	1,30	2,3	1795000	1,50
Магнетит	5,3	5,17	1014490	5,98
Лабрадор	1,5	2,70	3845180	1,57
Анортит	1,7	2,76	3994830	1,54
Олигоклаз	1,96	2,64	3750710	1,60
Шпинель	3,48	3,6	2188060	3,67
Альбит	2,31	2,61	3695040	2,00

Из таблицы 5 видно, что экспериментальные и теоретические значения хорошо согласуются друг с другом. Это, на наш взгляд, неплохой результат и подтверждает основные положения нашей модели.

Влияние давления на теплопроводность металлов и минералов с хорошей точностью выражается линейной зависимостью λ от P . Однако в области высоких давлений линейность нарушается. Теоретически этот вопрос разработан недостаточно.

Поскольку энергия Гиббса в области низких и средних значений слабо зависит от давления, то (12) дает линейную зависимость теплопроводности от давления, что соответствует экспериментальным данным. В области высоких и сверхвысоких давлений нужно учитывать эту зависимость, что приводит к соотношению

$$\lambda = K \frac{P}{d + \vartheta P}, K = const, d = H - TS. \quad (13)$$

Схематически вид функции (13) показан на рисунке. Кривая имеет максимум, определяемый из условия

$$\frac{\partial \lambda}{\partial P} = 0, \frac{\partial \lambda}{\partial P} = \frac{d}{(d + \vartheta P)^2} = 0, d = 0, H = TS.$$

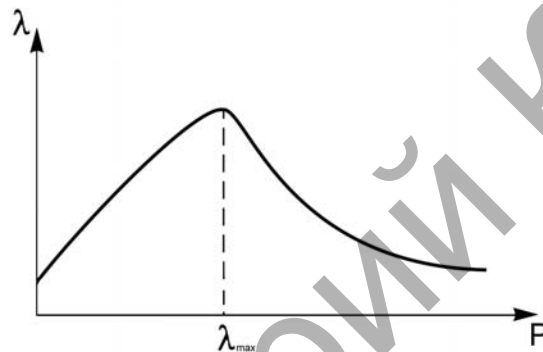


Рис. Зависимость коэффициента теплопроводности от давления

Тепловой режим земной коры зависит главным образом от теплопроводности минерального вещества. Предложенная в настоящей работе модель может, на наш взгляд, оказаться полезной при анализе теплового режима земной коры. Пользуясь методом аналогий, для дифференцированных запасов минерального сырья получаем уравнение типа (5), где $q_3 = 36585,3$.

Т а б л и ц а 6

Прогнозные запасы некоторых месторождений неметаллических полезных ископаемых

Месторождение	Минерал	λ , Вт/м·К	Прогнозные запасы	Разведанные запасы
Тектурмас	Кварцит	7,98	39,9 (млн. тонн)	40,86 (млн. тонн)
Сарытоганбай	Графит	389,0 87,6	132 (млн. тонн)	100 (млн. тонн)
Семизбугы	Корунд	34,6	22 (тыс. тонн)	17,7 (тыс. тонн)

В качестве примера в таблице 6 приведены рассчитанные прогнозные запасы некоторых месторождений неметаллических полезных ископаемых Казахстана. Из таблицы видно хорошее совпадение разведанных и рассчитанных запасов.

*Использование ядерно-физических методов для определения прогнозных запасов
полезных ископаемых*

В случае гамма-гамма-методов число факторов, влияющих на результаты геофизического опробования, значительно больше, чем в случае магнитных измерений. Помимо минерального состава, текстуры руд и т.д., существенную роль играет геометрия измерений, которая предъявляет довольно жёсткие требования к конструкции измерительных устройств. К этому нужно добавить и влияние

влажности, и зависимость результатов измерений от энергии первичных гамма-квантов. Предложенный нами выше термодинамический анализ магнитных методов измерения может быть использован и для гамма-гамма-метода. Отличие состоит в том, что энергия гамма-квантов E_γ значительно превосходит энергию магнитных диполей, поэтому членом $\exp(E_m/kT)$ в выражении для функции отклика пренебрегать уже нельзя. Беря в качестве функции отклика Φ интенсивность рассеянного гамма-излучения с энергией E_γ , мы получаем:

$$1 - I / I_0 = -B \frac{C_{Fe}}{G^0 E_\gamma}, \quad (14)$$

где I — интенсивность регистрируемых гамма-квантов после рассеяния; I_0 — интенсивность гамма-квантов от источника, $B=(kT)^2/C$; $C = 2\Delta S/k$ — постоянная для данного элемента и источника гамма-излучения; ΔS — изменение энтропии при квантовом переходе из возбужденного состояния в основное, $\Delta S = \bar{N}E_\gamma^2 / 2kT^2$, где \bar{N} — среднее число атомов элемента в минерале; G^0 — энергия Гиббса железосодержащего минерала. Из (14) следует линейная зависимость интенсивности рассеянного излучения от содержания железа C_{Fe} , что соответствует экспериментальным данным. Из (14) следует обратно пропорциональная зависимость чувствительности гамма-метода к содержанию железа от энергии первичных гамма-квантов, что также подтверждается экспериментально.

В случае магнетита (Fe_3O_4) $G_0 \approx 1 \text{ кДж/моль}$ мы получаем уравнение связи

$$C_{Fe} = 71 \cdot J / J_0. \quad (15)$$

Из экспериментальных данных имеем $C_{Fe} = 76 \cdot I / I_0$, что близко к (15) в пределах погрешности метода. Уравнения связи типа (14) и (15) можно получить и для других железосодержащих минералов, используя экспериментальные значения энергии Гиббса этих минералов.

Используя уравнение (15), мы получим

$$C_{Fe} = const \cdot G^0 \cdot \left(\frac{E_\gamma}{Z_{эф}} \right)^4. \quad (16)$$

Соотношение (16) показывает связь между определяемой концентрацией железа с характеристиками первичного гамма-излучения, эффективными атомным номером и термодинамическими свойствами среды. В диффузионном приближении зависимость интенсивности рассеяния гамма-излучения веществом выражается в явном виде:

$$J / J_0 = const \cdot \frac{\rho}{R} e^{-\xi}, \quad (17)$$

где ρ — плотность вещества, $\xi = \bar{\mu} \rho R$; $\bar{\mu}$ — коэффициент ослабления гамма-излучения; R — длина зонда. Уравнения (14)–(17) определяют практически всю информацию, получаемую в методе ГГМ. Однако полученное нами соотношение (14) содержит меньшее число параметров и более удобно при интерпретации полученных на практике экспериментальных данных. Чтобы перейти теперь к расчету прогнозных запасов в методе ГГМ, достаточно провести анализ, аналогичный указанному выше, и воспользоваться формулой (14). В результате получаем

$$P_k = \frac{1}{\ln(q_4 I / I_0)} \cdot 100 \%, \quad (18)$$

где $q_4 = 809826$. Для ряда железорудных месторождений Казахстана прогнозные ресурсы, вычисленные с помощью формулы (18), представлены в таблице 7.

Т а б л и ц а 7

Прогнозные и разведанные запасы железных руд некоторых месторождений Казахстана.

Месторождение	Прогнозные запасы, млн. тонн	Разведанные запасы, млн. тонн
Атансор	51,6	55,9
Тлеген	19,3	12
Кузган	23,4	14,6
Сарытобе	35,9	20

Использование плотностных характеристик минералов или данных гравиразведки для оценки запасов полезных ископаемых

Чтобы проиллюстрировать термодинамический подход к задачам гравиразведки, мы использовали сферическую модель Земли. В результате для аномалии ускорения свободного падения мы получили

$$\Delta g = B \frac{\Delta G^0}{C_M}, \quad B = \frac{\varphi \alpha}{A} = const. \quad (19)$$

Для дифференцированных запасов получим формулу типа (5), где $q_5 = 1002473$. В качестве примера в таблице 8 представлены результаты расчета прогнозных ресурсов некоторых угольных месторождений Казахстана, где проводилась гравиразведка.

Т а б л и ц а 8

Прогнозные и разведанные запасы некоторых угольных месторождений Казахстана

Месторождение	Прогнозные запасы млн. тонн	Разведанные запасы, млн. тонн
Тенгиз-Коржункольское	2243	355
Борлы	1760	478
Куучек	3140	636
Майкюбинское	5500	3647

Использование акустических свойств минералов или данных сейсморазведки для оценки запасов полезных ископаемых

Сейсмическая разведка включает совокупность методов для изучения глубинного строения земной коры. Используем аналогию между электрическими и акустическими системами, представленную в таблице 9.

Т а б л и ц а 9

Аналогия между электрическими и акустическими переменными и параметрами

Электрическая система	Акустическая система
Напряжение V	Давление P
Ток I	Скорость частиц v
Заряд e	Смещение u
Индуктивность L	Плотность среды ρ
Емкость C	Акустическая емкость $C_A=1/\tau$
Сопротивление R	Акустическое сопротивление R_A

Для нас представляет интерес скорость частиц v , которая и является основой сейсморазведки. Исходя из таблицы 9 ей соответствует ток I , который согласно закону Ома пропорционален электропроводности σ и обратно пропорционален удельному сопротивлению.

Для прогнозных запасов минерального сырья, используя данные сейсморазведки, мы получаем следующее выражение:

$$P_k = \frac{1}{\ln(q_4 \vartheta)} \cdot 100 \%, \quad (20)$$

где q_4 вычисляется по аналогичной процедуре, как и в случае q_1 - q_3 . В результате имеем $q_4 = 26,03$.

В качестве примера в таблице 10 представлены результаты расчета прогнозных дифференцированных ресурсов по формуле (20) для уже рассчитанных нами угольных свит Карагандинского угольного бассейна по данным электроразведки. При этом использовались данные сейсмических исследований Б.М.Кенжина.

Прогнозные дифференцированные запасы угля основных свит Карагандинского угольного бассейна

Свита	Дифференцированные запасы (%) по ν (м/с)	Дифференцированные запасы (%) по ρ (Ом·м)
Долинская	14,6	14,2
Тентекская	15,1	14,5
Карагандинская	14,4	14,3
Ашлярикская	13,6	13,4

Видно, что оба метода неплохо согласуются между собой в пределах ошибок эксперимента.

Заключение

Измеряя физические свойства минералов в их естественном залегании (метод искусственного подмагничивания, электрического зондирования и т.д.), мы можем определять дифференцированные запасы полезных ископаемых по предложенной выше методике, не прибегая к дорогостоящим методам бурения разведочных скважин. Точность определения запасов минерального сырья будет возрастать при использовании различных (не менее двух) методов для одного и того же месторождения.

References

1. *Portnov V.S., Jurov V.M.* Relation of a magnetic susceptibility of magnetic ores with thermodynamic parameters and the iron maintenance // News of Higher educational institutions, Mining journal. — 2004. — № 6. — P. 122–126.
2. *Safronov N.I.* Bases of geochemical methods of searches of ore deposits. — L.: Bowels, 1971. — 212 p.
3. *Safronov H.H., Meshcherjakov S.S., Ivanov N.P.* Energy of ore formation and searches of minerals. — L.: Bowels, 1978. — 215 p.
4. *Maksvell J.K.* The selected works on the theory of electromagnetic field. — M.: The State Technical edition, 1954. — P. 12.
5. *Jurov V.M., Eshchanov A.N., Portnov V.S.* Mathematical models of electric conductivity of solid states // Materials of III international conference «Mathematical modelling and information technologies in science and education». — Almaty, 2005. — Vol. 1. — P. 234–237.