

В.С. Портнов, В.М. Юров, Р.К. Камаров, Д.К. Бражанова

ОЦЕНКА ЗАПАСОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ ФИЗИЧЕСКИМИ И ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

На основе термодинамического подхода решены задачи оценки запасов минерального сырья. При решении использована фрактальная природа минеральных систем. На основе метода аналогий получены закономерности для оценки запасов по измеренным геофизическим полям. Рассчитаны дифференцированные запасы полезных ископаемых. Даны сравнительные примеры рассчитанных и разведанных запасов минерального сырья для ряда месторождений Казахстана и Украины.

ОЦІНКА ЗАПАСІВ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ ФІЗИЧНИМИ ТА ГЕОФІЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

На основі термодинамічного підходу вирішені задачі оцінки запасів мінеральної сировини. При розв'язанні використана фрактальна природа мінеральних сировин. На основі методу аналогій отримано закономірності для оцінки за вимірними геофізичними полями. Розраховано диференційовані запаси корисних копалин. Надано порівняльні приклади розрахованих і розвіданих запасів мінеральної сировини для низки родовищ Казахстану й України.

ESTIMATION OF MINERAL RESOURCES BY MEANS OF PHYSICAL AND GEOPHYSICAL METHODS

On the basis of thermodynamic approach estimation of mineral stocks are solved. Fractal nature of mineral systems is used during solution. On the basis of analogies patterns for stock assessment from the measured geophysical fields are received. Differentiated mineral reserves are calculated. Comparative examples of calculated and explored mineral stocks for a number of deposits of Kazakhstan and Ukraine are given.

ВВЕДЕНИЕ

Поиски большинства полезных ископаемых в большинстве случаев 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» ме-

сторождений. 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 [1 – 4], и в настоящее время [5 – 8] появляются работы, связанные с оценкой прогнозных запасов полезных ископаемых, как на региональ-

ном уровне, так и в мировых масштабах.

В настоящей работе обобщаются результаты термодинамического подхода к оценке прогнозных ресурсов минерального сырья на основе физических свойств минералов и результатов геофизического опробования рудных месторождений [9 – 12].

НЕРАВНОВЕСНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В основе большинства геофизических методов поиска полезных ископаемых и измерения физических свойств минералов лежит взаимодействие исследуемого объекта с внешним полем (магнитным, электрическим, акустическим и т.д.). Результатом этого взаимодействия является отклик исследуемого объекта на внешнее воздействие, который несет информацию о том или ином его физическом свойстве.

Мы используем концепцию элементарных возбуждений в твердых телах применительно к минералам, представительным пробам и т.д. В этой модели элементарные возбуждения (магнитные или электрические диполи, электроны, фононы и т.д.), рассматриваются как подсистема невзаимодействующих частиц, погруженная в термостат (минерал, руда и т.п.). Квантовые переходы, обусловленные взаимодействием элементарных возбуждений с термостатом, будут диссипативными (с вероятностью P), в отличие от взаимодействия с внешним полем (с вероятностью F). Диссипативные процессы приводят к тому, что вторичное поле меньше первичного. Функция отклика системы $\Phi = F / F + P$. Для вероятности диссипативных процессов нами получено [9]:

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

где ΔS – изменение энтропии при квантовом переходе;

E_m – среднее значение энергии основного состояния элементарных возбуждений;

τ – время одночастичной релаксации ($\tau \approx 10^{-12}$ с);

\bar{N} – среднее число элементарных возбуждений;

G^0 – энергия Гиббса термостата;

k – постоянная Больцмана;

T – температура.

Для функции отклика системы (после линеаризации) получаем следующее выражение:

$$\Phi = \frac{kT}{C} \frac{E}{G^0} \bar{N}, \quad (2)$$

здесь E – энергия внешнего поля;

C – некоторая постоянная, характерная для данного вида измерений.

Важным обстоятельством в полученных формулах (1) и (2) является наличие в энергии Гиббса минерала, непосредственно связанной с энергией рудообразования [3].

ФРАКТАЛЬНАЯ ПРИРОДА МИНЕРАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Процессы самоорганизации и фрактальная природа минеральных систем только начали входить в арсенал геологических методов исследования [13, 14]. Однако на практике пока преобладают классические геофизические и геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Здесь мы отметим лишь следующее: всякая геологическая среда и месторождение полезных ископаемых представляют собой сложную систему, свойства которой могут существенно отличаться от составляющих ее элементов. Тем не менее, основной минерал месторождения или представительная проба являются самоподобными в силу их фрактальной природы. Это обстоятельство позволяет редуцировать физические свойства представительной пробы на все месторождение в целом. Иными словами, минерал данного место-

рождения обладает физико-химическими, морфологическим и т.д. свойствами, присутствующими только данному месторождению.

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 [15] 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 табл. 1 показана аналогия, существующая между величинами в различных скалярных потенциальных полях.

АНАЛОГИЯ МЕЖДУ ВЕЛИЧИНАМИ В ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ПОЛЯХ

Таблица 1

Параметр	Электростатическое поле	Электростатическое поле тока	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 $gradT$
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 σ_m	Тепловая проводимость σ_m

РАСЧЕТ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В основе нашего подхода при расчете запасов полезных ископаемых лежит объединение модели Сафронова Н.И. [3] и модельных представлений, изложенных выше, и в работах [9 – 12]. 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 по-

лучена следующая формула:

$$P_k = \frac{1}{\ln(11406 \cdot \chi)} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где χ – магнитная восприимчивость минерала (метод магниторазведки).

Пользуясь методом аналогий для методов электроразведки, получим формулу типа (3):

$$P_k = \frac{1}{\ln(155121,6 \cdot \rho)} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где ρ – удельное сопротивление минерала.

Для теплофизических методов исследования:

$$P_{\kappa} = \frac{1}{\ln(365853 \cdot \lambda)} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где λ – теплопроводимость минерала.

Для ядерно-физического гамма-гамма метода имеем:

$$P_{\kappa} = \frac{1}{\ln(809826 \cdot I/I_0)} \cdot 100, \quad (6)$$

где I/I_0 – интенсивность рассеяния гамма-излучения веществом.

Для гравиразведки:

$$P_{\kappa} = \frac{1}{\ln(1002473 \cdot \Delta g)} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где Δg – аномалия ускорения свободного падения.

Для сейсморазведки:

$$P_{\kappa} = \frac{1}{\ln(26,03 \cdot v)} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где v – скорость сейсмических волн в геологической среде.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ПРОГНОЗНЫХ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Для того, чтобы оценить запасы месторождения с использованием соотношения (3), 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 табл. 2 и 3 приведены рассчитанные с учетом этих данных и соотношения (3) запасы железных руд некоторых месторождений Казахстана и Украины. Из табл. 2 видно, что прогнозные запасы магнетитовых руд, рассчитанные по формуле (3), больше разведанных. Однако для малых, полностью разработанных месторождений прогнозные и разведанные запасы совпадают с приемлемой точностью.

Для железорудных месторождений Украины существует неплохое соответствие запасов, рассчитанных по формуле (3) и разведанных (табл. 3).

ПРОГНОЗНЫЕ И РАЗВЕДАННЫЕ ЗАПАСЫ РУД МАГНЕТИТОВОГО ЖЕЛЕЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА

Таблица 2

Месторождение	Прогнозные запасы руды, млн т	Разведанные запасы руды, млн т [16, 17]
Соколовское	5330	3343
Сарбайское	2108	890,3
Качарское	6005	3998
Кентобе		
Второе (основное рудное тело)	71,87	32,733
Третье рудное тело	17,31	13,51
Куржункульское	639,3	Более 80

ПРОГНОЗНЫЕ И РАЗВЕДАННЫЕ ЗАПАСЫ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УКРАИНЫ

Таблица 3

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

В качестве примера в табл. 4 приведены рассчитанные прогнозные запасы некоторых месторождений неметаллических полезных ископаемых Казахстана по теплофизическим данным.

Из табл. 4 видно хорошее совпадение разведанных и рассчитанных запасов.

Для более точной оценки прогнозных запасов нужно использовать комплексиро-

вание методов разведки и измерений физических свойств минералов. В табл. 5, в качестве примера, представлены результаты расчета прогнозных дифференцированных ресурсов для угольных свит Карагандинского угольного бассейна по данным электро- и сейсморазведки.

Видно, что оба метода неплохо согласуются между собой.

ПРОГНОЗНЫЕ ЗАПАСЫ НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Таблица 4

Месторождение	Минерал	λ , (Вт/м·К)	Прогнозные запасы	Разведанные запасы
Тектурмас	Кварцит	7,98	39,90 (млн т)	40,86(млн т)
Сарытоганбай	Графит	389,00 87,60	132,00 (млн т)	100,00 (млн т)
Семизбугы	Корунд	34,60	22,00 (тыс. т)	17,70 (тыс. т)

ПРОГНОЗНЫЕ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЕ ЗАПАСЫ УГЛЯ ОСНОВНЫХ СВИТ КАРАГАНДИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Таблица 5

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

ВЫВОДЫ

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 – формулы (3) – (8), 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.

Наряду с ранее известными методами [1 – 8] преимуществом изложенного выше метода расчета прогнозных запасов руд и минералов является его экспрессность при удовлетворительной точности результатов. Метод позволяет рассчитывать запасы руд в пределах площади рудного горизонта, блока, охватываемой измерениями физических свойств руд в естественном залегании, а также делать их качественную оценку по горизонтам, определяя среднее значение того или иного физического параметра.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников Л.Н. Прогнозная оценка мировых запасов в месторождениях суши / Л.Н. Овчинников. – ДАН СССР, 1971. – Т. 196. – № 3. – С. 683 – 686.
2. Марголин А.М. Оценка запасов минерального сырья. Математические методы / А.М. Марголин. – М.: Недра, 1974. – 264 с.
3. Сафронов Н.И. Энергия рудообразования и поиски полезных ископаемых / Н.И. Сафронов, С.С. Мещеряков, Н.П. Иванов. – Л.: Недра, 1978. – 215 с.
4. Булкин Г.А. Количественная оценка прогнозных запасов руд / Г.А. Булкин. – М.: Недра, 1984. – 129 с.
5. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Вып. 1. Принципы и методы оценки / ред. Кривцов А.И. – М.: ВНИЭМС, 2006. – 44 с.
6. Рогова Т.Б. Подсчет запасов угольных месторождений / Рогова Т.Б., Шаклеин С.В., Ярков В.О. – Кемерово, 2010. – 136 с.
7. Матвеев А.А. Геохимические поиски месторождений полезных ископаемых / А.А. Матвеев. – М.: МГУ, 2003. – 110 с.
8. Коробейников А.Ф. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых / А.Ф. Коробейников. – Томск: ТПУ, 2009. – 253 с.
9. Портнов В.С. Связь магнитной восприимчивости магнетитовых руд с термодинамическими параметрами и содержанием железа / В.С. Портнов, В.М. Юров // Изв. ВУЗов. Горный журнал. – 2004. – № 6. – С. 122 – 126.
10. Портнов В.С. Прогнозные запасы железорудных месторождений Казахстана / В.С. Портнов, В.М. Юров // Промышленность Казахстана. – 2004. – № 12. – С. 82 – 83.
11. Использование физических свойств минералов для оценки запасов полезных ископаемых / Выжва С.А., Юров В.М., Портнов В.С. [и др.] // Вестник КарГУ. Физика. – 2011. – № 4(64). – С. 78 – 87.
12. Портнов В.С., Юров В.М., Турсунбаева А.К. Оценка прогнозных ресурсов полезных ископаемых геофизическими методами // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3. – С. 403 – 408.
13. Горяинов П.М. Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований / П.М. Горяинов, Г.Ю. Иванюк. – М.: ГЕОС, 2001. – 312 с.
14. Крылов С.С. Фракталы в геофизике / С.С. Крылов, Н.Ю. Бобров. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2004. – 138 с.
15. Максвелл Дж.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля / Дж.К. Максвелл. – М.: Гостехиздат, 1954.
16. Железорудные формации Зауралья (северная часть Тургайского прогиба). – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. – 230 с.
17. Железорудные формации Зауралья (средняя и южная части Тургайского прогиба). – Свердловск: УНЦ АН СССР. – 1987. – 254 с.

ОБ АВТОРАХ

Портнов Василий Сергеевич – д.т.н., профессор кафедры геофизических методов поисков и разведки месторождений ископаемых, руководитель Управления послевузовским образованием Карагандинского государственного технического университета.

Юров Виктор Михайлович – к.ф.-м.н, доцент кафедры физики твердого тела, директор научно-исследовательского центра «Ионно-плазменных технологий и современного приборостроения» Карагандинского государственного университета им. Е.А. Букетова.

Камаров Рымгали Кумашевич – к.т.н., профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, заместитель директора Центра инновационных методов и технологий обучения Карагандинского государственного технического университета.

Бражанова Дана Корабаевна – инженер кафедры приборостроения Карагандинского государственного технического университета.