

УДК 553.041:338:470

О. В. ЗУРЬЯН, заместитель директора УкрГГРИ

МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫЙ АНАЛИЗ СТОИМОСТИ ЗАПАСОВ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ В НЕДРАХ

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Изложено концепцию мультипликативной формы связи стоимостной оценки недр и определяющими ее горно-геологическими, технологическими и экономическими факторами. Приведен числовой пример.

The author outlined the multiplicative form concept of dependence between valuation of subsurface and determining its mining, geological, technological and economic factors. The numerical example is represented.

Минеральное сырье (МС) в недрах относится к специализированной недвижимости и в условиях рыночной экономики может рассматриваться: 1) как часть основного капитала горных предприятий, ценность которых в первую очередь определяется стоимостью запасов полезных ископаемых, содержащихся в пределах участка недр, и 2) как элемент национально-богатства [2, 3, 4, 7].

Функции и роль оценки стоимости МС в недрах определяются необходимостью сочетания интересов недропользователей и государства как собственника недр. Это относится как к геолого-экономическому анализу и прогнозу состояния минерально-сырьевой базы (МСБ) для обеспечения возможностей своевременного реагирования на изменяющуюся внешнюю среду (конъюнктура рынков МС, организационные, соци-

ально-экономические, экологические, политические условия недропользования), так и к мониторингу, охватывающему не только весь цикл воспроизводства МСБ, но и государственное регулирование на рентной основе отношений недропользования. Трудность заключается в том, чтобы проанализировать с позиций ресурсной экономики [7] процесс управления фондом недр и воспроизводства МСБ, протекавший в прошлом, и выразить, прежде всего количественно, его динамику в будущем. В зависимости от постановки задачи анализ такой системы причинно-следственных зависимостей может быть проведен на основе использования мультипликативных функций.

Ниже рассматривается метод анализа, в котором предполагается мультипликативная форма связи извлекаемой ценности запасов МС с обуславливающими состояние ресурсной базы факторами [1, 6]. При таком

анализе стоимостная оценка МС в недрах разлагается по факторам, которые мультипликативно воздействуют на оценку.

Многофакторные мультипликативные модели стоимости недр строятся по единому принципу, а именно:

1) влияние факторов, включенных в анализ, не зависит от их числа, т. е. значимость какого-либо фактора в рамках одного и того же анализа не меняется от того, оказывают ли влияние на результивный показатель три, четыре или большее число факторов;

2) необходимо, чтобы место фактора в модели соответствовало геологической, горнотехнической и экономической роли фактора в формировании потенциальной стоимости запасов и прогнозных ресурсов данного вида МС в недрах вне зависимости от степени их подготовки к извлечению или товарной стоимости разведанных запасов МС (с учетом надежности оценки их количества и качества);

3) возможно объединение двух или более рядом стоящих в модели факторов в качестве одного укрупненного.

Из второго и третьего условий следует, что, несмотря на формальную независимость величины произведения от перестановки сомножителей при построении многофакторных моделей, имеющих в качестве результивного объемный показатель, всегда можно указать возможную последовательность расположения факторов, удовлетворяющую условиям технологической и экономической интерпретации результатов анализа.

Итак, обозначим через x_0 зависимую, а через a_0, a_1, \dots, a_n – независимые переменные, т. е.

$$x_0 = f(a_0, a_1, \dots, a_n), \quad (1)$$

$$x_0 = a_0, a_1, \dots, a_n = \prod_{i=0}^n a_i. \quad (2)$$

Функция x_0 от факторов a_0, a_1, \dots, a_n рассматривается для двух периодов времени или, иначе говоря, для двух состояний, а именно: $x_{0,0}$ и $x_{0,1}$ – зависимая переменная в состояниях 0 и 1 (базисная величина); $a_{i,0}$ и $a_{i,1}$ – независимая переменная в состояниях 0 и 1 (фактическая величина), $i = 0, 1, \dots, n$.

Соответственно, для состояний 0 и 1 получаем выражение (2) в виде

$$x_{0,0} = \prod_{i=0}^n a_{i,0}; x_{0,1} = \prod_{i=0}^n a_{i,1}. \quad (3)$$

Цель мультипликативного анализа состоит в том, чтобы разность значений x_0 в состоянии 0 и состоянии 1, т. е. величину прироста стоимости МС в недрах, распределить полностью по влияющим факторам. В зависимости от системы причинно-следственных зависимостей в качестве независимых переменных могут быть приняты следующие факторы:

а) стоимостная оценка угольных богатств недр [5]:

$СтН = M K_n K_n K_{акт} Ц_{изв}$, где M – количество запасов, разрабатываемых и подготовленных к освоению месторождений;

K_n – коэффициент сквозного извлечения угля;

K_n – коэффициент приведения запасов категорий C_2 к разведанным запасам;

$K_{акт}$ – коэффициент активных запасов;

$Ц_{изв}$ – цена первого товарного продукта с учетом экспортной составляющей на дату оценки;

б) стоимостная оценка запасов рудных месторождений [2]:

$$СтН = Z_r M \frac{1 - П}{1 - Ч} РИЦ,$$

где Z_r – разведанные запасы руды в недрах;

M – среднее содержание металла в руде в недрах, г/т, % и др.;

$П$ – потери руды при добыче, доли ед.;

$Ч$ – засорение (примеси-

вание некондиционных руд и пустых пород) при добыче, доли ед.;

P – коэффициент разубоживания (изменение качества руды при добыче), выражающий отношение содержания металла в добытой руде к его содержанию в недрах, доли ед.;

I – коэффициент извлечения металла из добытой руды в конечный продукт при обогащении, доли ед.;

C – цена металла в конечном продукте на дату оценки, грн.

Естественно, что эти величины имеют вероятностный характер, а точность определяется достоверностью геолого-экономической информации. Однако, несмотря на различие исходных методологических предпосылок, отклонение от базисной величины (или прирост какого-либо экономического показателя) Δx_0 можно выразить следующим образом:

$$\Delta x_0 = x_{0,1} - x_{0,0} = \prod_{i=0}^n a_{i,1} - \prod_{i=0}^n a_{i,0}. \quad (4)$$

Если полностью разложить разность Δx_0 по факторам e_i (для $i = 0, 1, \dots, n$), то тогда получим

$$\Delta x_0 = \sum_{i=0}^n e_i, \quad (5)$$

где $e_i = (a_{i,1} - a_{i,0}) a_{0,1} a_{1,1} a_{2,1} \dots a_{i-1,1} a_{i+1,0} \dots a_{n,0}$.

Влияние фактора e_i имеет место благодаря тому, что независимая переменная a_i изменяется при переходе из состояния 0 в состояние 1, а остальные переменные остаются постоянными, а именно переменные a_0, a_1, \dots, a_{i-1} принимаем для состояния 1 (их влияние уже определено), а переменные a_{i+1}, \dots, a_n – для состояния 0 (их влияние еще следует определить).

В экономической практике переменные a_i чаще встречаются в виде относительных величин. Это прежде всего относится к анализу базисных показателей, для которых специально и был развит этот метод [6]. Прежде

де всего обозначим переменные: x_i – i -я переменная, $i = 0, 1, \dots, n$; $x_{n+1} = 1$ – вспомогательная величина, чтобы оставить уравнение (6).

Переменные a_i выглядят теперь следующим образом:

$$a_i = \frac{x_i}{x_{i+1}}, \text{ для } i = 0, 1, \dots, n. \quad (7)$$

В число переменных, определяемых соотношением (7), включена как относительная величина и переменная $x_0 \equiv a_0 = \frac{x_0}{x_1}$.

Определенное формулой (5) условие $\Delta x_0 = \sum_{i=0}^n e_i$ справедливо и далее. Поэтому, принимая во внимание формулу (7), после соответствую-

ющих сокращений, в конце концов, оказывается

$$\Delta x_0 = \sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n x_{0,1} \left(\frac{x_{i+1,0}}{x_{i+1,1}} - \frac{x_{i,0}}{x_{i,1}} \right) = \sum_{i=0}^n x_{0,1} d_i. \quad (8)$$

Таким образом, прирост какого-либо экономического показателя (в частности извлекаемой стоимости минерального сырья) можно представить в виде суммы разностей одних величин, умноженных на произведение остальных относительных величин.

При этом здесь снова сохраняется правило расчета факторов, а именно сохраняется варьирование переменной $a_i = \frac{x_i}{x_{i+1}}$, влияние

которой определяется при переходе из состояния 0 в состояние 1, и закрепляются переменные a_0, \dots, a_{n-1} , влияние которых уже определено в состоянии 1.

В частности, если прирост искомого показателя нужно распределить по факторам, которые имеют значение в рассматриваемой системе причинно-следственных зависимостей, то проще всего действовать согласно следующим правилам, которые вытекают из формулы (8):

а) для каждого из факторов e_i ($i = 1, \dots, n$) зависимая переменная всегда принимает значение для состояния 1, т. е. постоянное значение $x_{0,1}$ (фактическая величина);

Таблица 1. Расчетная схема мультипликативного анализа экономических показателей [6]

Переменные	Значение переменных в состояниях		Индексы динамики	Обратные значения индексов (расчетная величина)	Разности d_i
	0	1			
x_0	$x_{0,0}$	$x_{0,1}$	$\frac{x_{0,1}}{x_{0,0}}$	$\frac{x_{0,0}}{x_{0,1}}$	$d_0 = \frac{x_{1,0}}{x_{1,1}} - \frac{x_{0,0}}{x_{0,1}}$
x_1	$x_{1,0}$	$x_{1,1}$	$\frac{x_{1,1}}{x_{1,0}}$	$\frac{x_{1,0}}{x_{1,1}}$	$d_1 = \frac{x_{2,0}}{x_{2,1}} - \frac{x_{1,0}}{x_{1,1}}$
...
x_i	$x_{i,0}$	$x_{i,1}$	$\frac{x_{i,1}}{x_{i,0}}$	$\frac{x_{i,0}}{x_{i,1}}$	$d_i = \frac{x_{i+1,0}}{x_{i+1,1}} - \frac{x_{i,0}}{x_{i,1}}$
...
x_n	$x_{n,0}$	$x_{n,1}$	$\frac{x_{n,1}}{x_{n,0}}$	$\frac{x_{n,0}}{x_{n,1}}$	$d_n = 1 - \frac{x_{n,0}}{x_{n,1}}$
x_{n+1}	$x_{n+1,0} = x_{n+1,1} = 1$				
Фактор e_i	Причинные переменные в состояниях		Индексы факторов	Значения факторов	
	0	1			
e_0	$a_{0,0} = \frac{x_{0,0}}{x_{1,0}}$	$a_{0,0} = \frac{x_{0,1}}{x_{1,1}}$	$\frac{a_{0,1}}{a_{0,0}}$	$e_0 = x_{0,1} d_0$	
e_1	$a_{1,0} = \frac{x_{1,0}}{x_{2,0}}$	$a_{1,1} = \frac{x_{1,1}}{x_{2,1}}$	$\frac{a_{1,1}}{a_{1,0}}$	$e_1 = x_{0,1} d_1$	
...	
e_i	$a_{i,0} = \frac{x_{i,0}}{x_{i+1,0}}$	$a_{i,1} = \frac{x_{i,1}}{x_{i+1,1}}$	$\frac{a_{i,1}}{a_{i,0}}$	$e_i = x_{0,1} d_i$	
...	
e_n	$a_{n,0} = \frac{x_{n,0}}{x_{n+1,0}}$	$a_{n,1} = \frac{x_{n,1}}{x_{n+1,1}}$	$\frac{a_{n,1}}{a_{n,0}}$	$e_n = x_{0,1} d_n$	
				$\sum_{i=0}^n e_i = x_{0,1} - x_{0,0}$	

б) для фактора e_i ($i = 1, \dots, n$) в скобках стоит соответствующая разность двух обратных величин, а именно индекса $x_{i+1,1}/x_{i+1,0}$ и индекса $x_{i,1}/x_{i,0}$, т.е. влияние на переменную x_0 не этих двух индексов, а относительных величин $x_{i,0}/x_{i+1,0}$ и $x_{i,1}/x_{i+1,1}$.

Если, например, нужно определить, в какой мере разведанные запасы МС (металл для большинства металлических полезных ископаемых, руда для некоторых металлических и неметаллических ископаемых, уголь и т.д.) оказывают влияние среди прочих факторов на стоимость недр, то мы могли бы оценить это влияние, умножая отчетное значение стоимости МС ($x_{0,i}$) на разность обратных значений индекса разведанных запасов и индекса среднего содержания полезных компонент.

Разумеется, для мультипликативного анализа является предпосылкой, что переменные, которые лежат в основе рассчитываемых факторов в качестве исходных величин, записываются в такой последовательности, в которой они обычно подставляются в уравнение (8). Благодаря этому расчет индексов динамики как для исходных величин, так и для факторов можно проводить в табличной форме (табл. 1).

Кроме того, в связи с тем, что $x_{n+1,0} = x_{n+1,1} = 1$, подставляя в формулу (8) $i = n$, получим для фактора e_n формулу

$$e_n = x_{0,1} \left(1 - \frac{x_{n,0}}{x_{n,1}} \right). \quad (9)$$

Итак, предложена схема, которая позволяет на основе мультипликативного подхода распределить прирост какой-либо исходной переменной по влияющим на нее факторам.

Дело теперь за тем, чтобы подобрать такие факторы (или объединения рядом стоящих в модели факторов), которые придали системе условий мульт-

типликативного анализа геолого-экономический смысл. Ниже на условном примере произведен анализ извлекаемой стоимости разведанных запасов металла. Это такая стоимость, которую следует иметь ввиду при покупке лицензии на недропользование как ожидаемую прибыль.

Введем следующие переменные:

x_0 – извлекаемая стоимость металла, млн грн;

x_1 – разведанные запасы металла в недрах, $Q_2 \cdot M$, кг;

x_2 – коэффициент потерь разведанных запасов, при добыче и разубоживании $\left(\frac{1-n}{1-r} P \right)$, доли ед.;

x_3 – коэффициент потерь эксплуатационных запасов

металла при обогащении, доли ед.;

x_4 – цена 1 кг металла, грн;

$x_5 = 1$ – вспомогательная величина.

Все эти переменные, а также влияющие факторы a_i рассматриваются в состояниях 0 (базисные значения) и 1 (фактические значения). На основе указанных переменных можно определить следующие переменные, влияющие на изменение стоимости разведанных запасов золота при переходе из состояния 0 в состояние 1:

$$a_0 = \frac{x_0}{x_1}, a_1 = \frac{x_1}{x_2}, a_3 = \frac{x_4}{x_5}.$$

Расчет факторов производится в виде таблицы (табл. 2).

Результаты анализа легко интерпретируются. Они заключаются в том, чтобы в

зависимости от конкретных условий разведки, добычи и переработки МС найти соответствующие горно-геологические и технологические переменные, которые мультипликативно воспроизведут подлежащий исследованию результативный признак. Такая постановка задачи может иметь важное значение при: разработке минерально-сырьевых программ по переоценке МСБ, уделяя первостепенное значение дефицитным видам полезных ископаемых; планировании геологоразведочных работ; окупаемости вложенных средств в освоение месторождений; оценке минералонасыщенности территорий с приведением, помимо общей и удельной на единицу площади стоимости

Таблица 2. Мультипликативный анализ стоимости запасов металла в недрах

Переменные	Наименование переменных	Базис	Факт	Индексы динамики	Обратные значения индексов	Разности
x_1	Разведанные запасы металла в недрах по кат. А+В+С ₁ , кг	26 983	24 032	0,8910	1,1228	-0,13290
x_2	Коэффициент потерь разведанных запасов при добыче и разубоживании, доли ед.	0,98	0,99	1,0102	0,9899	-0,02936
x_3	Коэффициент эксплуатационных запасов при обогащении, доли ед.	0,73	0,76	1,0411	0,9605	+0,03947
x_4	Цена 1 г металла, грн	200	200	1,0	1,0	0
x_5	Вспомогательная величина	1,0	1,0	1,0	1,0	
Факторы			Причинные переменные		Выполнение по факторам	Значения факторов
			базис	факт		
Изменение извлекаемой ценности металла на тонну запасов			1,421	1,504	1,06	+2,24
Изменение стоимости разведанных запасов металла			1,02	1,01	0,99	-4,80
Изменение стоимости запасов металла при добыче			1,342	1,303	0,97	-1,06
Изменение стоимости запасов металла после обогащения			0,0036	0,0038	1,055	+1,42
Изменение цены металла					1	0
ИТОГ					(36,16–38,36)	-2,2

запасов в недрах, отдельных “срезов” стоимости запасов только по разрабатываемым или подготовленным к эксплуатации месторождениям полезных ископаемых, только по прогнозным ресурсам; реализации законодательных актов по недропользованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Адамов В. Е.* Факторный индексный анализ. М.: Статистика, 1978. 198 с.

2. *Ампилов Ю. П.* Экономическая геология/Ю. П. Ампилов, А. А. Герт. М.: Геоинформмарк, 2006. 329 с.

3. *Заверткин В. Л.* Российские недра и оценка их стоимости (к вопросу о методике оценки)/В. Л. Заверткин, А. Г. Харченков//Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1996. № 4. С. 39–41.

4. *Неженский И. А.* О расчете товарной стоимости прогнозных ресурсов и запасов твердых полезных ископаемых//Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2003. № 3. С. 54–56.

5. *Петров О. В.* Стоимостная оценка угольных богатств недр России/О. В. Петров, В. И. Вялов, А. Б. Гуревич, Г. М. Волкова, Н. В. Михалевская, И. А. Неженский//Уголь. 2010. № 3. С. 44–46.

6. *Фёрстер Э.* Мультипликативный анализ экономических явлений и процессов//В сб.: Математико-статистические методы исследования взаимосвязей в экономике. М.: Статистика, 1987. С. 89–98.

7. *Эндерс А.* Экономика природных ресурсов/А. Эндерс, И. Квернер. СПб.: Питер, 2004. С. 256.

8. *Яковлев В. Л.* К вопросу об оценке стоимости минеральных ресурсов в недрах/В. Л. Яковлев, С. И. Бурыкин//Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1997. № 5. С. 36–37.

УДК 550.812.1[553.41+549.3](477.61)

М. В. ГЕЙЧЕНКО, заступник директора Департаменту геології Держгеонадр України,
Є. С. ГЕРАСИМОВ, головний геолог,
К. В. ВСЕВОЛОДСЬКИЙ, генеральний директор (“Схід ДРГП”)

РОЗПОДІЛ ЗОЛОТА ТА ЕЛЕМЕНТІВ-ДОМІШОК У СУЛЬФІДАХ БОБРИКІВСЬКОЇ ЗАХІДНОЇ ПЛОЩІ (НАГОЛЬНИЙ КРЯЖ)

Результати парного аналізу одних і тих самих наважок сульфідів (ізотопний і нейтронно-активаційний) показали, що як осадово-біогенні, так і гідротермальні сульфідні золотоносні різною мірою. Наявність золота в осадових піритах – специфічна особливість досліджуваної площі. У гідротермальних сульфідах золото розподілене нерівномірно: найбільш золотоносними є сульфідні у разі, коли роль мінералів-концентраторів належить арсенопіриту та піриту. Відзначено також, що високі концентрації золота спостерігаються в місцях перетину прошарків осадового піриту із жилами й прожилками. Це дає підставу передбачати певну роль золота осадового піриту під час формування промислово цінного компонента руд.

Results of the same sulphides samples (isotopic and neutron activation) paired analyzes showed that both biogenic sedimentary and hydrothermal sulfides are auriferous to varying degrees. The presence of gold in sedimentary pyrites is a specific feature of the study area. Gold is distributed unequally in hydrothermal sulfides: most auriferous sulfides are those when the role of concentrator-minerals belongs to arsenopyrite and pyrite. It is also noted that high concentrations of gold occur at the intersection of layers of sedimentary pyrite with veins and veinlets. This gives grounds to specify a convincing role of sedimentary pyrite gold during formation of ores industrially valuable component.

З метою виявлення закономірностей розподілу золота та елементів-домішок у сульфідах, мінералого-геохімічних характеристик останніх ЦНДГРІ (м. Москва) спільно зі “Схід ДРГП” (м. Луганськ) були вивчені методом нейтронної активації Au, As, Co і Sb. У процесі відбору проб на аналіз використовувалися зразки з відомим ізотопним складом сірки, класифіковані за генетичними ознаками [3].

Піритові утворення, що характеризують сульфідну (піритову) мінералізацію з розрізів деяких вугільних шахт і зараховані за варіаціями величин δS^{34} до осадово-біогенних, охарактеризовані 19 пробами (табл. 1).

Як видно, вміст золота в осадових піритах нерівномірний і варіює від 40,0 г/т до слідів. При цьому вказана

нерівномірність у розподілі зберігається і в межах окремих зразків, варіюючи, наприклад, від 0,55 до 11,6 г/т.

Виявлена нерівномірність розподілу золота як у ряді зближених точок із піритових конкрецій, так і в регіональному масштабі може свідчити (непрямо) про форму входження золота в пірит. Найімовірніше всього, золото входить до складу піритових утворень у вигляді механічної домішки, зменшення або збільшення розмірності зерен якої й приводить до вмісту золота, який різко коливається як у мікромасштабі, так і в регіональному плані.

Виявлена золотоносність осадово-біогенних піритів, явно відібраних поза зонами прожилкової мінералізації, є характерною для досліджуваного району й дещо несподіваною для сульфідів осадового походження.

Це питання є вельми цікавим і потребує подальших спеціальних досліджень.

Щодо миш'яку різновид піритової мінералізації, що розглядається, характеризується підвищеним його вмістом (табл. 1). Кількість миш'яку також мінлива, але в середньому становить ~2010 г/т.

Для кобальту ж, при значному діапазоні варіацій, середні значення становлять 80 г/т.

На відміну від розглянутих елементів, сурма поводить себе вкрай нестабільно з варіюванням від 4530 г/т до слідів.

Таким чином, отримані результати щодо вмісту Au, As, Co і Sb в осадово-біогенних піритах із розрізів вугільних шахт указують на підвищений вміст золота й миш'яку в цих утвореннях, що є характерною і специфічною рисою піритів, сингенетичних з вугленосними відкладами світи C_1^5 Донецького басейну.