

О. І. Левченко, канд. геол. наук, завідувач відділу економіки геологічних досліджень та проблем надрокористування (Український державний геологорозвідувальний інститут), levchenko_al@mail.ru

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ОЦІНКИ ПРИРОДНОГО (РЕНТНОГО) ПОТЕНЦІАЛУ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

Проведено дослідження теоретичних, методологічних і практичних аспектів числової оцінки природного (рентного) потенціалу родовищ корисних копалин.

Розроблено й апробовано на прикладі рудних родовищ, що видобуваються підземним способом, методологію оцінки допустимого ризику визначення економічного потенціалу об'єктів МСБ. Удосконалено метод багатокритеріального (багатофакторного) вибору перспективних об'єктів мінерально-сировинної бази, який апробовано на прикладі родовищ, що розробляються відкритим способом. Розроблено метод порівняння об'єктивних умов виробництва за сукупністю природних чинників, який апробовано на прикладі вугільних шахт. Визначення результатів взаємодії гірничого виробництва з геологічним середовищем ґрунтується на оцінці сумарного впливу природних чинників, частина з яких сприяє підвищенню ефективності виробництва, а інші призводять до його зниження.

Розроблено й удосконалено методи й моделі оцінки природного (рентного) потенціалу родовищ твердих корисних копалин можуть бути використані для вирішення завдань доцільності подальшої розвідки й промислового освоєння родовищ, вартісної їх оцінки й диференційного підходу до оподаткування у сфері геологічного вивчення й використання надр.

Ключові слова: геолого-економічна оцінка, статистичні ігри, природний (рентний) потенціал, багатокритеріальний (багатофакторний) вибір, кваліметрія.

Як відомо, залежно від етапу вивчення надр геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин (ГЕОР) є комплексом розвідувальних робіт і супровідних їх багатоваріантних розрахунків, в результаті яких визначаються: кількість й якість запасів корисних копалин й умов їх розробки, очікуваний рівень техніко-економічних показників майбутньої експлуатації і, врешті-решт, вартісні параметри освоєння родовища на момент розрахунку [6].

Усі відомі способи вирішення таких задач припускають деяку процедуру емпіричного прогнозу, логічні основи якої поки що не знайдені. Бо при цьому в роботах геологічного напрямку часто не приділяється належної уваги економічним і гір-

ничотехнічним проблемам оцінки об'єктів мінерально-сировинної бази (МСБ), зокрема урахуванню чинника часу при вартісній оцінці родовищ, а в роботах економічного напрямку не акцентується увага на геологічному й динаміко-інформаційному аспектах постадійної оцінки промислового потенціалу об'єктів геологорозвідувальних робіт (ГРР) [1].

В умовах неструктурованої інформації про характеристики об'єкта геологічного вивчення й "поведінку" економічного середовища ми не можемо чітко визначити "шкалу цінностей", яка дає змогу на початкових етапах ГРР упорядкувати обґрунтованість схвалюваних рішень вибору типу "так" чи "ні" [12].

Потрібно так само відзначити, що техніко-економічне обґрунтування кондицій ґрунтується в основному на багатьох змінних параметрах, що практично відповідає дійсності тільки на момент розрахунку й з часом потребує постійного уточнення й перерахунку.

Виходячи з цього, треба розробити або вдосконалити механізм обґрунтування оцінки природного (рентного) потенціалу родовищ корисних копалин (РКК), який базується на незмінних кількісних й якісних показниках, що отримуються під час геологічного вивчення об'єкта оцінки надр.

Цей механізм, на мою думку, повинен базуватися на основі загальновідомих методів і моделей оцінки природного (рентного) потенціалу РКК.

Статистичні ігри на початкових етапах геологічного вивчення надр

Незважаючи на різноманітність засобів і способів оптимізації геологорозвідувального процесу, логічна основа схеми пошуків і розвідки РКК має просту структуру в тому розумінні, що вона складається з послідовності стадій геологорозвідувальних робіт, яка зводиться до формальних завдань виділення деяких об'єктів ГРР й їх ранжування за розміром і категорійністю запасів [6, 12].

Зрозуміло, що введення уявлень про допустимий ризик розпізнання промислового потенціалу об'єктів геологорозвідувальних робіт на ранніх стадіях їх вивчення неможливо здійснити незаперечним чином. Можна лише говорити про прагнення до його зменшення через виявлення уподобань особою, що приймає рішення (далі ОПР), які ґрунтуються на досвіді вивчення РКК подібного промислового (генетичного) типу й аналітичних уявленнях про певний клас придатних рішень “родовище” – “непромислова мінералізація” [11]. Питання оцінки таких рішень ототожнюється із втратою або виграшем для ОПР. Із цих міркувань випливає розуміння оціночної ідеї вивчення природної якості запасів й умов розробки, тобто ста-

нів природи як статистичної гри геолога й природи.

З урахуванням того, що природа є пасивним гравцем і тільки геолог прагне до виграшу, гра зводиться до визначення функції рішення типу “так” – “ні”, для якої ризик був би мінімальним за будь-якого можливого стану природи $\theta \in \Omega$ (де Ω – множина станів природи). Мається на увазі знання для відповідних станів θ апріорних розподілів характеристик природної якості запасів й умов розробки.

Різні апріорні розподіли передбачають різні рішення. Якщо є можливість отримання інформації про розподіл станів природи (зокрема за рахунок дорозвідки РКК), то найкращою стратегією геолога в грі, в якій природа не є зацікавленим супротивником, є байєсовська стратегія, яка дає змогу отримати таке рішення $a \in A$, для якого $\max_{a \in A} E[W(\theta, a)]$ (де E – математичне очікування корисності (ефективності) $W(\theta, a)$ рішення a в прийнятому розподілі станів природи) [5]. Воно еквівалентно мінімакській стратегії геолога в статистичній грі, програш якого визначається функцією втрат $L(\theta, a) = -W(\theta, a)$, що являє собою виграш природи.

Для розрахунків потрібна кількісна оцінка матриці $W(\theta, a)$ для всіх станів $\theta \in \Omega$. Можна припустити, що оцінки $W(\theta, a)$ будуть залежати від того, яку інформацію має геолог про економіку родовищ корисних копалин, подібних за природною якістю для станів $\theta \in \Omega$.

Але на пошуковому етапі отримати ці оцінки майже неможливо, оскільки навіть на функціонуючих родовищах втрати виробництва можуть виявитися, наприклад, наслідком низького техніко-економічного чи технологічного рівня, а не природних умов. Вочевидь, у цьому разі варто застосувати простіший метод оцінки, який відповідає технологічним способам й умовам виробничого споживання ресурсів, а саме: експрес-метод оцінки матриці $W(\theta, a)$, що ґрунтується на порівнянні характеристик природної якості оцінюваного й еталонного родовищ.

Такі відносні коефіцієнти порівняння (узагальнені показники) $0 \leq K_{уз.} \leq 1$ ідентифікуються як деяка класифікаційна система у вигляді інтервальної шкали якості однорідних за технологічним способом виробництва РКК у порядку зменшення їх природного потенціалу (аж до непромислової мінералізації) (табл. 1).

Справжній стан природи $\theta \in \Omega$ невідомий. Підсумкові рішення $A = (a_1, a_2)$, де a_1 – розробка РКК, a_2 – відмова від розробки. Запаси РКК за станом θ хоча й грубо, але можна класифікувати з економічних позицій:

стан θ_1 – запаси ефективні $K_{уз.}^{\theta_1} = 0,8$, $W(\theta_1, a_1) = 3,5$;

стан θ_2 – запаси від ефективних до умовно-ефективних $K_{уз.}^{\theta_2} = 0,65$, $W(\theta_2, a_1) = 2,0$;

стан θ_3 – запаси від умовно-ефективних до неефективних $K_{уз.}^{\theta_3} = 0,4$, $W(\theta_3, a_1) = -2,8$.

Відмова від розробки пов'язана з нульовою ефективністю. Число функцій рішень $d \in D$ становить $2^3 = 8$ [5, 7]:

$d_1(a_1/\theta_1, a_1/\theta_2, a_1/\theta_3)$; $d_2(a_1/\theta_1, a_1/\theta_2, a_2/\theta_3)$, ...;

$d_8(a_2/\theta_1, a_2/\theta_2, a_2/\theta_3)$.

Окремі функції рішення відрізняються одна від однієї бальними оцінками

потенційної ефективності станів θ , що виконують роль “ваг” у $K_{уз.}^{\theta}$, які відранжовані в порядку збільшення ризиків. З урахуванням прийнятого на основі даних ГРР апріорного розподілу станів природи $P(\theta_1) = 0,2$; $P(\theta_2) = 0,5$; $P(\theta_3) = 0,3$ мінімальний ризик відповідає рішенням про розробку родовища при реалізації станів θ_1 і θ_2 . Замикальним у низці ризиків буде рішення про розробку родовища за умови “реалізації” природою стану θ_3 .

Багатокритеріальний (багатофакторний) вибір перспективних об'єктів на початкових етапах вивчення й оцінки родовищ твердих корисних копалин

Проблема визначення перспективних/неперспективних у промислового відношенні об'єктів ГРР на етапі пошукових або пошуково-оцінювальних робіт багато в чому подібна до побудовання експертно-моделюючих систем для вирішення задач геологічного прогнозування за багатьма критеріями, які враховують специфіку об'єкта оцінки, засоби досягнення мети й можливі наслідки прийнятого рішення.

Таблиця 1. Значення ефективності рішення $W(\theta, a)$ залежно від відносних коефіцієнтів порівняння

Градація $K_{уз.}$	Характеристика природного потенціалу родовища	$W(\theta, a)$
1,0	Еталонний (гіпотетичний) рівень за кількістю й якістю запасів корисних копалин, умовами розробки, розміщенням	
1,0–0,75	Дуже хороший рівень. Сприяє впровадженню ефективних технологій і засобів видобування й переробки мінеральної сировини. Асоціюється з високим рівнем рентабельності. Мінімальні надбавки за гірничий ризик при оцінці за комерційним варіантом	від 5 до 3
0,75–0,5	Хороший і прийнятний рівень. Асоціюється з внутрішньокорпоративним рівнем рентабельності (10–15 %). Помірний ступінь ризику	від 3 до 1
0,5–0,25	Недостатньо прийнятний і граничний рівень. Асоціюється з відпрацюванням РКК за сприятливої ринкової кон'юнктури. Високий ступінь гірничого ризику	від 1 до -3
Менше 0,25	“Бракувальний” рівень. Можливе вибіркоче відпрацювання легкодоступних ділянок гостродефіцитної сировини на дотаційній основі. Висока відходність виробництва	не оцінюється

ОПР доводиться стикатися зі складною комбінаторною проблемою фіксації та варіювання багатьох чинників – кількісних й якісних характеристик виділення, опису й класифікації потенційних родовищ корисних копалин, вплив яких на очікувані результати майбутньої експлуатації можна сформулювати лише в загальних рисах.

Таким чином, рішення слабоструктурованих геолого-економічних задач на початкових етапах вивчення надр еквівалентно використанню методів формалізації обмеженої інформації. Останні дають змогу проводити порівняльну оцінку ступеня обґрунтованості різних можливих варіантів рішень, що в ситуаціях, пов'язаних з невизначеністю й ризиком, надає цим рішенням більшу сталість і надійність.

У розпізнаванні потенціалу об'єктів ГРП (елементів e множини E) з позиції декількох критеріїв центральну роль відіграє задача виділення на певній об'єктивній основі з множини E достатньо однорідних підмножин (сукупностей, класів, категорій тощо). Для цього потрібно правильно описати різницю за i -м критерієм між будь-якими $e \in E$. Припускається, що на основі принципу аналогій особа, яка приймає рішення, спроможна визначити загальну функцію уподобань щодо оцінюваних об'єктів, яка визначається сукупністю геологічних й економічних критеріїв оцінки родовищ, що розглядаються, й має певне емпіричне обґрунтування.

У статті апробовано процедуру багатокритеріального (багатофакторного) вибору з множини E об'єктів ГРП, що розглядаються, “найкращого”. Імовірно, що рішення цієї задачі характерне для випадку, коли за низкою критеріїв оцінки об'єкта e вищі, ніж об'єкт e' , а за іншими критеріями – нижчі.

Процедура багатокритеріального аналізу полягає в наступному. Для кожного з критеріїв вводиться дискретна шкала оцінок. Будується оргграф, вершинами якого є окремі об'єкти $e \in E$, а дуги вказують на ранжування об'єктів відповідно до цього критерію. Далі вводяться показники відносної важливості прийнятих критеріїв

$\Gamma_i, i = 1, \dots, n$ і по кожному з критеріїв за допомогою градацій (кількісних або якісних) визначаються оцінки $Y_i(e)$ кожного $e \in E$. На основі оцінок об'єктів множини E , що розглядаються, по всіх критеріях з урахуванням їх ваг, які можуть бути будь-якими додатними числами, обчислюються матриці значень запропонованих B . Рун функцій домінування – спеціальних коефіцієнтів, які називають індексами “згоди” й “незгоди”. Ці індекси змінюються від 0 до 1. Для введення індексів “незгоди” потрібно попередньо узгодити такі показники, що будуть використовуватися, довжини шкал критеріїв.

Далі для кожної пари об'єктів $(e, e') \in E$ вважається визначеним відношення переваги, наприклад e над e' , якщо для достатньої представницької сукупності критеріїв, з урахуванням їх відносної важливості, значення відповідних індексів “згоди” більші певного, близького до 1 порогового значення, а індексів “незгоди” за рештою критеріїв – менше відповідного, відносно близького до 0, порогового значення. На основі побудованого таким чином бінарного відношення переваги будується узагальнений граф, структура якого значним чином залежить від вибраних порогових значень. Ядро цього графа містить у собі кращий з наявних об'єктів, а також ті з перспективних об'єктів $e \in E$, які не порівнювали при вибраних порогах. Основною перевагою підходу, що пропонується, є те, що ОПР надаються тільки ті об'єкти, для порівняння яких дійсно потрібен глибший і ретельніший аналіз. Відношення переваги має в цьому разі сенс певної формульної експертизи передбачення промислової цінності об'єктів ГРП [2, 9].

У статті наведено чисельні приклади ранжування промислового потенціалу РКК, що розроблюються відкритим способом за сукупністю різноманітних поєднань природних чинників: коефіцієнта розкриття, природної якості запасів, гірничо-геологічних і гідрогеологічних умов розробки та ін.

Це дає змогу обґрунтувати метод багатокритеріального (багатофакторного)

вибору перспективних об'єктів мінерально-сировинної бази, що пропонується, показати можливість використання методу як при кількісних, так і при якісних оцінках типу “краще – гірше”, коли кожному критерію, що має геолого-економічний сенс, приписується вага – число, що характеризує його важливість порівняно з іншими критеріями.

Кваліметричний підхід до оцінки природного потенціалу родовищ

Важливою особливістю гірничого виробництва, що функціонує на базі запасів РКК, є те, що як основний ефектоутворювальний чинник виступає диференційна гірнична рента. Але реальна різниця показників витрат і вигод двох конкретних РКК завжди є результатом сукупного впливу некерованих (природних) і керованих (технічних й організаційних) чинників.

З економічного погляду природна цінність перетворюється на абсолютну завдяки економії (різниці) витрат на освоєння й експлуатацію родовищ, що порівнюються між собою за інформативними природними чинниками й за розміщенням у районах різного рівня промислової й соціальної інфраструктури.

Взаємозв'язок між характеристиками залягання й природної якості корисних копалин і загальною структурою й рівнем витрат і вигод, які відповідають конкретній стадії споживацької готовності мінеральної сировини, відіграє роль своєрідного “мосту” в процедурі розпізнавання потенційно кращих і гірших (за вибраними критеріями ефективності) родовищ корисних копалин. Тому важливо індивідуалізувати величину ренти I роду залежно від природних умов добування й переробки мінеральної сировини й не плутати її з рентою II роду, тобто з тим прибутком, який можна отримати за рахунок чинників інтенсивного характеру, що об'єднуються поняттям техніко-організаційного рівня виробництва. Якщо останні не ефективні, то геолого-економічні параметри навіть привабливого з погляду геології родовища можуть набути від'єм-

них значень і перевести це родовище до розряду замикальних за критеріями конкурентного ринку [3, 4, 7, 8].

Можна припустити, що, оскільки природний потенціал кожного оцінюваного РКК характеризується індивідуальною сукупністю параметрів залягання й якості запасів корисних копалин, то для того, щоб мати можливість зробити вибір, потрібно представити згадану сукупність чинників у вигляді певної скалярної величини $K_{уз}^1$ – узагальненого показника природної якості РКК.

Початковою базою для рішення цієї задачі є інформація щодо ціноутворювальних (наприклад, марка вугілля, блочність і декоративність природного каміння, уміст корисних компонентів і шкідливих домішок тощо) і витратоутворювальних (наприклад, глибина розробки, потужність розкриття й корисної копалини, газо- і багатководність, сталість бокових порід та ін.) природних чинників, їх змінюваності в природних умовах залягання для кожного родовища порівняно з іншими або еталонним родовищем по конкретному виду корисних копалин.

Оскільки вибір виробничих параметрів експлуатації здійснюється без актуалізації майбутнього прибутку, то різниця в рівнях технологічності виробництва стає похідною тих або інших поєднань характеристик природної якості РКК. Тому логічним є досягнення розумного ступеня однорідності (таксономія) робочого ознакового простору, в якому можливе внутрішньокласове порівняння показників природної якості й економічності варіантів відпрацювання РКК (наприклад, відкритий або підземний способи видобування, розробка корінних або розсипних родовищ та ін.). Типізація РКК за природними чинниками й технологічними способами відпрацювання має здійснюватися з дотриманням принципу структурної подібності моделі й об'єкта, який вивчається.

Одним з можливих способів вирішення задачі порівняння об'єктивних умов виробництва за сукупністю природних чинників є використання комплексних

критеріїв якості, що пропонує кваліметрія. Принципи кваліметрії ґрунтуються на визначенні властивостей родовища з допомогою точки n – мірного простору зі спеціальною метрикою (де n – кількість природних чинників). Чим ближче в заданій метриці точка родовища, що розглядається, міститься до точки, яка відповідає ідеалу (еталона), тим вище якість РКК.

Узагальнений показник якості РКК має певний економічний сенс, оскільки будується на припущенні щодо неоднакової вагомості (важливості) порівнюваних природних чинників за їх впливом на оцінку природного (рентного I роду) потенціалу РКК.

Об'єднання різноманітних природних характеристик в єдиний багатокомпонентний критерій якості $K_{уз}$ здійснюється способом побудування середньовиваженого показника з постійними (на інтервалі оцінки) параметрами вагомості. Усі, що використовуються, типи таких показників (середні виважені арифметичні, геометричні, гармонійні й ін.) можна визначити за такою формулою

$$K_{уз} = \sum_{i=1}^n \varphi_{(i)} f(x_i, x_i^{em}) = \sum_{i=1}^n \varphi_{(i)} k_i,$$

де $\varphi_{(i)}$ – коефіцієнти вагомості; $x_i = (x_1, x_n)$ x_i – значення одиничних ефектоутворювальних характеристик природної якості РКК; $x_i^{em} = (x_i^{em}, x_n^{em})$ – відповідні їм еталонні (базові) значення;

$$k_i = \frac{x_i}{x_i^{em}} \text{ або } \frac{x_i^{em}}{x_i}$$

відповідно, якщо оптимальне значення i -тої характеристики досягається на нижній або верхній межі інтервалу $[x_i^{min} \div x_i^{max}]$.

Коефіцієнти вагомості відображують відносну значимість характеристик природної якості за ступенем їх впливу на економічні результати розробки РКК.

Спосіб оцінки ваг одиничних характеристик в абсолютному вигляді базується на визначенні нормуючої функції φ_i . Для випадку, коли важливо виділити окремі показники

$$\varphi_i = \frac{i}{2^{(i-1)}}, i = 1, \dots, n,$$

де i – ранг одиничної характеристики природної якості, що визначається на основі опитування експертів.

З урахуванням присвоєних рангів відносні ваги одиничних характеристик природної якості визначаються за формулою

$$\varphi_{(i)} = \frac{\varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_i}; \sum_{i=1}^n \varphi_{(i)} = 1.$$

Після приведення всіх одиничних показників природної якості РКК до безрозмірного вигляду й розрахунку коефіцієнтів вагомості $\varphi_{(i)}$ обчислюється узагальнений показник природного (рентного) потенціалу родовища. Узагальнений критерій якості РКК є мірою його приближення до еталона [4, 7, 8, 10].

Таким чином, при кваліметричному підході до оцінки якості РКК виконується вимірювання двох видів: абсолютне вимірювання i -тої характеристики та відносне – показника $k_i = f(x_i, x_i^{em})$. Але якщо величина x_i є постійною характеристикою, притаманною кожному природному чиннику, то величина x_i^{em} залежить не тільки від самого чинника, але й від вибраної для порівняння бази (еталона). Інакше кажучи, поза вибраним еталоном неможливо говорити про оцінку якості РКК.

Ясно, що для родовища корисних копалин, значення одиничних характеристик природної якості якого дорівнюють подібним оптимальним показникам гіпотетичного еталонного РКК, величина

$K_{уз}^1 = 1$, для решти РКК величина $0 < K_{уз}^1 > 1$.

Далі наведемо приклад оцінки природного потенціалу запасів вугільних шахт, який є показовим для РКК, що розроблюються підземним способом.

У результаті анкетного опитування експертів із 17 чинників, що впливають на витрати по процесах, які змінюються безперервно або разом з переміщенням гірничих робіт, відібрані й відранжовані в порядку зменшення вагомості гірничо-геологічні чинники, які є найважливішими

для порівняння об'єктивних умов виробництва: 1) потужність пласта, 2) глибина розробки, 3) кут падіння, 4) насиченість газом, 5) небезпека викидів, 6) сталість бокових порід, 7) водопритлив.

Діапазон зміни чинників: 1) потужність пласта (0,6–2,0 м); 2) глибина розробки (200–1 300 м); 3) кут падіння: полого (0–18°), похиле (19–35°), круто похиле (36–55°), круте (56–90°); 4) насиченість газом: I категорія (до 5 м³/т), II категорія (5–10 м³/т), III категорія (10–15 м³/т), понадкатегорійні (>15 м³/т); 5) небезпека викидів (безпечні, небезпечні); 6) сталість бокових порід (породи, що легко обвалюються, середньої сталості, сталі); 7) водопритлив (100–600 м³/год).

Еталонні значення чинників умовної шахти: 1) 2,0 м; 2) 200 м; 3) полого; 4) I категорія; 5) безпечні; 6) сталі; 7) 100 м³/год.

Відібрані чинники вимагають різноманітних методів оцінки їх впливу на витрати з видобування вугілля. Для якісних чинників має значення факт певного дискретного стану (кут падіння) або досягнення певного граничного значення (небезпека по викидах). Поліваріантні чинники перекодуються в інтервалі [0,1] в кількісні з однаковим кроком.

На основі вищезазначених вихідних даних проводимо розрахунки абсолютних і відносних ваг чинників й узагальненого показника якості.

Абсолютні ваги чинників становлять: 1) 1,0; 2) 1,0; 3) 0,75; 4) 0,5; 5) 0,31; 6) 0,19; 7) 0,11. $\Sigma = 3,86$.

Відносні ваги чинників дорівнюють: 1) 0,26; 2) 0,26; 3) 0,19; 4) 0,13; 5) 0,08; 6) 0,05; 7) 0,03. $\Sigma = 1$.

Узагальнений показник якості має такий вигляд

$$K_{\text{юз.}}^{(1)} = \frac{0,9 - 0,6}{2,0 - 0,6} \cdot 0,26 + \frac{1300 - 250}{1300 - 200} \cdot 0,26 + 1,0 \cdot 0,19 + 0,33 \cdot 0,13 + 1,0 \cdot 0,08 + 1,0 \cdot 0,05 + \frac{600 - 230}{600 - 100} \cdot 0,03 = 0,67;$$

$$K_{\text{юз.}}^{(2)} = 0,36; K_{\text{юз.}}^{(3)} = 0,61; K_{\text{юз.}}^{(4)} = 1,04.$$

На основі цих чинників проведено комплексну (рейтингова) оцінку природної якості запасів шахт для різних умов, яку для наочності показано в табличному вигляді (табл. 2).

Для гіпотетичної шахти, значення одичних витратоутворювальних природних чинників якої дорівнюють аналогічним еталонним показникам на шахтах України, величина $K_{\text{юз.}} = 1$. Як видно з табл. 2, гірничо-геологічні умови відпрацювання вугільних родовищ у Південно-Африканській Республіці (ПАР) сприятливіші, ніж умови еталонної шахти. Можна припустити, що шахта, яка за сукупністю природних чинників перебуває в гіршому або кращому стані за гірничо-геологічними умовами видобування, має об'єктивно зумовлену меншу або більшу потенційну рентну цінність, яка може бути реалізована в результаті її розробки [3, 8, 9].

За аналогією з вищенаведеним прикладом розраховуємо природну якість деяких заліззородних родовищ України, що розробляються відкритим способом. На основі опитування експертів для оцінки відібрані такі ефектоутворювальні чинники, наведені в таблиці, які відранжовані за порядком убубання їх важливості (табл. 3).

Розроблений єдиний багатоконпонентний критерій природної якості РКК, який поєднує різноманітні природні характеристики, дає можливість проводити порівняння рентного потенціалу не тільки для фактичних умов на момент оцінки, але й при гіпотетичних варіаціях умов виробництва. Це особливо важливо під час аналізу зміни природної якості запасів рудного поля з переміщенням фронту гірничих робіт, унаслідок чого техніко-економічні показники підприємства змінюються в часі зазвичай у гірший бік.

Висновки

1. Оцінка запасів (ресурсів) корисних копалин, особливо на початкових етапах ГРР, є фактично нестабільною формульною експертизою. Тут потрібно виходити з неможливості детермінованої процедури розрахунку чутливості промислового потенціалу РКК. Після визначення ці оцінки

Таблиця 2. Кваліметрія вугільних родовищ (чисельний приклад)

1. Вихідні дані

№ з/п	Відібрані природні чинники (за критерієм мінімальних експлуатаційних витрат)	Характеристики, параметри	Еталонні значення чинників
1	Потужність пласта, м	від 0,6 до 2	2
2	Глибина розробки, м	від 200 до 1 300	200
3	Кут падіння, град.	пологе (0–18), похиле (19–35), круто похиле (36–55), круте (>55)	пологе
4	Насиченість газом, м ³ /т	I категорія (до 5), II категорія (5–10), III категорія (10–15), понадкатегорійні (>15)	I категорія
5	Небезпека викидів	безпечні, небезпечні	безпечні
6	Сталість бокових порід	породи, що легко обвалюються, середньої стійкості, стійкі	ті, що легко обвалюються
7	Водоприплив, м ³ /год	від 100 до 600	100

2. Комплексна (рейтингова) оцінка природної якості запасів

№ з/п	Чинники	Шахта № 1 (Західний Донбас)	Шахта № 2 (Центральний Донбас)	Шахта № 3 (Львівсько-Волинський басейн)	Шахта № 4 (ПАР)
1	Потужність пласта, м	0,9	1,4	0,95	2,5
2	Глибина розробки, м	250	750	340	100
3	Кут падіння	пологе	крутопохиле	пологе	пологе
4	Насиченість газом	III категорія	понадкатегорійна	III категорія	негазова
5	Небезпека викидів	безпечна	небезпечна	безпечна	безпечна
6	Сталість бокових порід	ті, що легко обвалюються	середньої стійкості	ті, що легко обвалюються	стійкі
7	Водоприплив, м ³ /год	230	150	300	немає даних
	$K_{уз}$	0,67	0,36	0,61	1,04

формується на певних допусках і не претендують на сталість у часі, особливо на складно побудованих РКК із замикаючою якістю запасів і важко передбачуваною ринковою кон'юнктурою.

Загалом оцінка РКК має містити найважливіші кількісні й якісні геолого-економічні параметри родовищ, урахувати термін майбутньої розробки, а в разі нестачі геологічної або економічної інформації – визначити можливий промисловий ранг об'єкта (“родовище” – “непромислова мінералізація”).

Таким чином, які б якості не мало природне скупчення корисних копалин, воно не може бути названим родовищем доти,

доки не проведено його геолого-економічну оцінку з урахуванням умов освоєння й виробничих схем експлуатації, пов'язаних з ризиком, меншим, ніж деякий заданий ризик, який для різних критеріїв (зокрема неекономічних) може бути різним.

Тому головною рисою постадійної оцінки об'єктів ГРП є динаміко-інформаційний аспект, починаючи від узагальненої прогнозної й закінчуючи експлуатаційною оцінкою природного (рентного) потенціалу РКК.

2. Задача визначення економічної привабливості об'єктів геологорозвідувальних робіт на ранніх стадіях їх вивчення є неоднозначною, складною й багатоплано-

вою. Здебільшого складність геологічного об'єкта не дає змоги суттєво уніфікувати розрахунки й вимагає нестандартних рішень. У зв'язку з цим впливає розуміння оцінної ідеї вивчення гірничо-геологічних характеристик об'єкта ГРР – станів природи, як статистичної гри з нульовою сумою геолога й природи, в якій природа не зацікавлена виграти гру, тобто є пасивним супротивником.

Якщо є можливість отримання статистичної інформації щодо розподілу станів природи, зокрема способом дорозвідки, то найкраща стратегія для геолога є байєсовська функція рішення, що максимізує математичне очікування корисності $W(\theta, a)$ за будь-якого можливого стану природи. Навіть у разі, коли не вдається знайти апіорного розподілу станів природи, формальне визначення (на основі власного досвіду й інтуїції геолога, гіпотез і пропозицій щодо “поведінки” геологічного середовища тощо) ваг, які виконують роль апіорного розподілу $\theta \in \Omega$, допоможе визначити можливі геологічні ризики в рішеннях типу “так” – “ні”.

3. У задачах багатокритеріального вибору перспективних у промисловому відношенні об'єктів ГРР центральна роль надається методам формалізації й порівняння кількісної й якісної геологічної й економічної інформації, які дають змогу для кожної пари об'єктів $(e, e') \in E$ побудувати (з урахуванням ваг прийнятих критеріїв) відношення переваги, що цьому разі є експертною оцінкою промислової цінності об'єктів ГРР.

Важливо, що запропонована процедура забезпечує мінімізацію витрат на знаходження перспективних об'єктів ГРР через вилучення з розгляду на ранніх етапах тих об'єктів, цінність яких викликає сумніви. Небезпека виникає в тих випадках, коли метрика шкал за оціночними критеріями вибирається інтуїтивно, іноді без з'ясування відправних обмежень технологічного характеру, зовнішніх умов й інших причин, що перешкоджають ефективному освоєнню РКК.

4. Мірою економічної цінності запасів корисних копалин є гірничий рента, яка створюється під час оптимального режиму експлуатації РКК. При вартісній оцінці

Таблиця 3. Кваліметрія залізородних родовищ (чисельний приклад)

№ з/п	Відібрані природні чинники (за критерієм мінімуму експлуатаційних витрат)	Характеристики, параметри	Родовища залізістих кварцитів		
			Інгулецьке	Петрівське	Ганнівське
1	Коефіцієнт розкриття, м ³ /т	2,2–0,4*	0,4	1,1	0,9
2	Загальний уміст металу в руді, %	22–42*	32,4	33,5	34,3
3	Промислові запаси сировини, млн т	600–1500*	1280	600	1195
4	Складність геологічної будови	група I–IV	II	II	II
5	Водоприплив, м ³ /год	1 200–1 300*	800	550	350
	$K_{уз.}$		0,72	0,48	0,68

Примітки:

* Оптимальні значення чинників гіпотетичного родовища.

Абсолютні ваги чинників: $\varphi_1=1,0; \varphi_2=1,0; \varphi_3=0,75; \varphi_4=0,5; \varphi_5=0,31; \sum_i \varphi_i = 3,56$.

Відносні ваги чинників: $\varphi_{(1)}=0,28; \varphi_{(2)}=0,28; \varphi_{(3)}=0,21; \varphi_{(4)}=0,14; \varphi_{(5)}=0,09; \sum_i \varphi_{(i)} = 1$.

з урахуванням чинника часу складно обгрунтувати механізм формування показників ефективності виробництва, оскільки результати виробничого процесу, відокремлені від конкретних особливостей технологічних рішень з урахуванням гірничотехнічних і ресурсних обмежень, набувають позасистемну оцінку. Принаймні, причинно-наслідкові відношення між джерелами утворення ренти I і II не можуть бути ідентифіковані до об'єкта оцінки.

Одним з можливих способів вирішення такої задачі є побудування комплексного багатокomпонентного показника природної якості РКК на основі принципів кваліметрії. Це робить можливим заміну оцінок власне показників ефективності порівнянням чинників, що їх визначають, – природних і технологічних. Перехід до порівняння аргументів критеріальних показників ефективності надає можливість задавати певні варіації об'єктивних умов виробництва, що важливо під час аналізу поточного стану й прогнозування зміни якості МСБ за видами корисних копалин, підготовки об'єктів для ліцензування, визначення розмірів плати за користування надрами.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Лаповский Д. М.* К вопросу оценки приоритетных направлений научно-технического прогресса в промышленности строительных материалов//Д. М. Лаповский, А. И. Левченко, А. М. Пидтилок//Строительные материалы и изделия. – 2005. – № 4. – С. 18–20.

2. *Левченко А.* К вопросу многокритериального выбора перспективных объектов на начальных этапах изучения и оценки месторождений//А. Левченко, А. Пидтилок//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2003. – № 2. – С. 116–122.

3. *Левченко О.* Досвід побудування виробничих функцій для шахт Донбасу//О. Левченко, О. Підтілок//Вісник КНУ ім. Тараса Шевченка. Серія “Геологія”. – 2006. – № 37. – С. 13–16.

4. *Левченко О. І.* Формування рентних платежів за користування надрами (концептуальний підхід)//О. І. Левченко, Б. І. Малюк, О. М. Підтілок//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2007. – № 2. – С. 214–219.

5. *Левченко А.* Статистические игры на начальных этапах геологического изучения

недр и оценки природного (рентного) потенциала месторождений//А. Левченко, А. Пидтилок//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2007. – № 4. – С. 86–95.

6. *Левченко А.* Современные методы и проблемы экономической оценки месторождений на этапах геологоразведочных работ//А. Левченко, А. Пидтилок//Мінеральні ресурси України. – 2008. – № 2. – С. 31–36.

7. *Левченко А. И.* Об использовании принципов кваліметрии для оценки природного рентного потенциала месторождений полезных ископаемых//А. И. Левченко//Сучасні економічні можливості розвитку та реалізації мінерально-сировинної бази України і Росії в умовах глобалізації ринку мінеральної сировини: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 21–23 червня 2005 р.). – К.: ІГН, 2005. – 310 с.

8. *Левченко А. И.* К вопросу оценки природного потенциала месторождений минерального сырья//А. И. Левченко, А. М. Пидтилок//Актуальні проблеми формування рентної політики в сучасних умовах. – К.: РВПС НАНУ, 2007. – Ч. II. – С. 49–56.

9. *Левченко А. И.* Влияние технического уровня производства на экономическую оценку запасов полезного ископаемого//А. И. Левченко//Прикладна геологічна наука сьогодні: здобутки та проблеми: Матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. (Київ, 5–6 липня 2007 р.). – К.: УкрДГРІ, 2007. – С. 223–224.

10. *Пидтилок А.* Построение комплексного показателя природной ценности (потенциала) месторождения на основе теории статистических игр//А. Пидтилок, А. Левченко//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2004. – № 1. – С. 119–125.

11. *Пидтилок А.* К вопросу учета неопределенности и риска при освоении месторождений//А. Пидтилок, А. Левченко//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2005. – № 2. – С. 173–183.

12. *Пидтилок А.* Специфика поисков, разведки и оценки месторождений твердых полезных ископаемых на современном этапе//А. Пидтилок, А. Левченко//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2008. – № 1. – С. 121–129.

REFERENCES

1. *Lapovskij D. M., Levchenko A. I., Pidtilok A. M.* To a question of an estimation of priority directions of scientific and technical progress in the industry of building materials//Stroitelnye materialy i izdelija. – 2005. – № 4. – P. 18–20. (In Russian).

2. *Levchenko A., Pidtilok A.* To a question multi-criteria a choice of perspective objects at the initial stages of studying and an estimation of deposits//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2003. – № 2. – P. 116–122. (In Russian).

3. *Levchenko O., Pidtilok O.* Experience of construction of production functions for mines (shafts) of Donbass//Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu im. T. Shevchenka. Seriiia “Heolohiia”. – 2006. – № 37. – P. 13–16. (In Ukrainian).

4. *Levchenko O. I., Malyuk B. I., Pidtilok O. M.* Formation of rent payments for use of bowels (the conceptually)//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2007. – № 2. – P. 214–219. (In Ukrainian).

5. *Levchenko A., Pidtilok A.* Statistic game on the begining stages of geological studying of sub-surfaces and estimations of natural (rent) potential of deposits//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2007. – № 4. – P. 86–95. (In Russian).

6. *Levchenko A., Pidtilok A.* Modern methods and problems of an economic estimation of deposits at stages of prospecting works//Mineralni resursy Ukrainy. – 2008. – № 2. – P. 31–36. (In Russian).

7. *Levchenko A. I.* About use of principles qualimetria for an estimation of natural rent potential of deposits of minerals//Suchasni ekonomichni mozhlyvosti rozvytku ta realizatsii mineralno-syrovynnoi bazy Ukrainy i Rosii v umovakh hlobalizatsii rynku mineralnoi syrovyny: Materialy

Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kyiv, 21–23 chervnia 2005 roku). – Kyiv: GSI, 2005. – 310 p. (In Russian).

8. *Levchenko A. I., Pidtilok A. M.* To a question of an estimation of natural potential of deposits of minerals//Aktualni problemy formuvannia rentnoi polityky v suchasnykh umovakh. – Kyiv: RVPC NANU, 2007. – P. II. – P. 49–56. (In Russian).

9. *Levchenko A. I.* Influence of a technological level of manufacture on an economic estimation of stocks of a useful mineral//Prykladna heolohichna nauka cogodni: zdobytky ta problemy: Materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (Kyiv, 5–6 lypnia 2007 roku). – Kyiv: UkrDHRI, 2007. – P. 223–224. (In Russian).

10. *Pidtilok A., Levchenko A.* Creation of a complex parameter of natural value (potential) of a deposit on the basis of the theory of statistical games//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2004. – № 1. – P. 119–125. (In Russian).

11. *Pidtilok A., Levchenko A.* To a question of the account of uncertainty and risk at development of deposits//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2005. – № 2. – P. 173–183. (In Russian).

12. *Pidtilok A., Levchenko A.* Specificity of searches, investigations and estimations of deposits of solid minerals at the present stage//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2008. – № 1. – P. 121–129. (In Russian).

Рукопис отримано 24.11.2015.

А. И. Левченко, Украинский государственный геологоразведочный институт, levchenko_al@mail.ru

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ПРИРОДНОГО (РЕНТНОГО) ПОТЕНЦИАЛА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Исследованы теоретические, методологические и практические аспекты числовой оценки природного (рентного) потенциала месторождений полезных ископаемых.

Разработана и опробована на примере рудных месторождений, добыча в которых ведется подземным способом, методология оценки допустимого риска определения экономического потенциала объектов МСБ. Усовершенствовано метод многокритериального (многофакторного) выбора перспективных объектов минерально-сырьевой базы, который апробирован на примере месторождений, разрабатываемых открытым способом. Разработан метод сравнения объективных условий производства по совокупности природных факторов, который опробовано на примере угольных шахт. Определение результатов взаимодействия горнодобывающего производства с геологической средой базируется на оценке суммарного влияния природных факторов, часть из которых содействует повышению эффективности производства, а другие приводят к ее снижению.

Разработанные и усовершенствованные методы и модели оценки природного (рентного) потенциала месторождений твердых полезных ископаемых могут быть использованы при решении задач целесообразности дальнейшей разведки и промышленной раз-

работки месторождения, стоимостной их оценки и дифференцированного подхода к налогообложению в сфере геологического изучения и использования недр.

Ключевые слова: геолого-экономическая оценка, статистические игры, природный (рентный) потенциал, многокритериальный (многофакторный) выбор, квалиметрия.

A. I. Levchenko, *Ukrainian State Geological Research Institute (UkrSGRI)*,
levchenko_al@mail.ru

THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF THE ASSESSMENT NATURAL (RENT) POTENTIAL OF MINERAL DEPOSITS

Theoretical, methodological and practical aspects of a numerical assessment of natural (rent) potential of mineral deposits are investigated.

It is developed and tested on the example of ore a field production in which is conducted in the underground way, methodology of an assessment of admissible risk of determination of economic potential of objects of MSB. It is improved a method of a multicriteria (multiple-factor) choice of perspective objects of mineral resources which is approved on the example of fields. Developed in the open way. The method of comparison of objective conditions of production on set of natural factors which it is tested on the example of coal mines is developed. Definition of results of interaction of mining production with the geological environment is based on an assessment of total influence of natural factors the part from which promotes production efficiency increase, and others lead to its decrease.

The developed and advanced methods and models of an assessment of natural (rent) potential of fields of solid minerals can be used at the solution of problems of expediency of further investigation and industrial development of a field, their cost assessment and the differentiated approach to the taxation in the sphere of geological studying and use of a subsoil.

Keywords: *geological and economic assessment, statistical games, natural (rent) potential, multi-criteria (multiple-factor) choice, qualimetry.*