

М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБ'ЄМНО-ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН У НАДРАХ

Мета. Розглянути геостатистичні методи оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах (дискретний, випадковий і універсальний крайгінг) як ефективні по точності в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, які оцінюємо.

Методи дослідження. Оцінку блоків малого і великого розмірів з різним числом розвідувальних даних у блоках і за межами визначали по величині відносної похибки оцінок у порівнянні їх з фактично вимірними значеннями на відпрацьованих ділянках залізистих кварцитів родовищ. Порівняння по точності результатів застосування традиційних і геостатистичних методів при оцінці об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах не суперечить теорії оптимального статистичного оцінювання і може бути використана тільки для моделі мінливості показників або окремих її параметрів.

Наукова новизна. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку об'ємно-якісних показників корисних копалин, зменшити зсув оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах і в блоках, які складенні різнотипними корисними копалинами.

Практична значимість. Оцінки середнього значення об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах базуються як на дослідженні мінливості ознак, так і на аналізі геометричних характеристик блоків рудного тіла, параметрів розвідувальних мереж. Як показують розрахунки, для малих блоків рудного тіла досить залучити для оцінки три – шість найближчих проб. У цьому випадку для регулярних мереж опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах розрахунки коефіцієнтів будуть проведені заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб, які беруть участь в оцінці.

Результати. Розглянуті дискретний, випадковий і універсальний крайгінг оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах більш ефективні по точності в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, що оцінюємо. Запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах в блоках, що складенні різнотипними корисними копалинами. Сутність методу полягає в тому, що поряд зі звичайними варіограмами вмістів якісних показників для кожного типу корисних копалин будують індикаторні варіограми.

Ключові слова: надра, запаси, блоки, об'ємно-якісні показники, крайгінг оцінки, індикаторні варіограми.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-119-125

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Питаннями прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах займалися провідні вчені Марголін О. М., Єршов В. В., Ушаков І. М. та інші [1]. Запропоновано досить багато методів прогнозування, більшість з яких не є ефективними з погляду похибки оцінки вмісту якісних показників корисних копалин у надрах, оскільки не враховують характер мінливості показників об'ємно-якісних ознак. Завдання прогнозування середніх значень геологічних об'ємно-якісних ознак показників корисних копалин у надрах – одна з найважливіших при реалізації функцій маркшейдерсько-геологічного управління вмістом якісних показників корисних копалин. Застосування методів опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах, що засновані на теорії випадкових функцій, дає задовільні результати для блоків малого розміру, які недостатньо «освітлені» розвідувальними даними і з якими доводиться зустрічатися в умовах діючих гірничовидобувних підприємств.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання про ефективність застосування різних математичних методів прогнозування показників у надрах розглядалося в літературі [2,4]. До теперішнього часу отримані дані не дозволяють віддати перевагу традиційним або геостатистичним методам, що пов'язано, видимо, з недостатньо глибоким аналізом конкретних гірничо-геологічних умов їхнього використання.

Постановка завдання. Завдання оцінки вмісту якісних показників корисних копалин у надрах може бути успішно вирішено рівняннями крайгінга і оцінкою величини дисперсії, якщо модель розміщення об'ємно-якісних ознак в просторі не містить закономірної складової $S_T(X, Y, Z)$, а автокореляційна функція $K(h)$ або власна функція $\gamma(h) = 1/2S(h) = K(\infty)$ задані. Існують варіанти реалізації методу в зазначених умовах. Перший – пов'язаний з точним вирішенням системи рівнянь крайгінга (дискретний крайгінг), другий – з можливими спрощеннями,

виходячи з фізичного смислу рівнянь (випадковий крайгінг). Спрощення рівнянь можливо, при таких ситуаціях, коли результат оцінки очевидний до проведення розрахунків. Якщо лінійні розміри блоку, який оцінюємо мають той же порядок, що і середня відстань між точками опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах. Тоді заздалегідь ясно, що в оцінку блоку істотний внесок внесуть лише ті проби, які ближче всього розташовані до центра блоку, який оцінюємо, тобто вагові коефіцієнти проб, що відділенні від блоку дорівнюють нулю. Такий висновок підтверджується точним вирішенням системи рівнянь крайгінга, які враховують всі вихідні дані. Другий варіант пов'язаний з оцінкою порівняно більших блоків. У цьому випадку очікуємо, що всі проби, які перебувають у межах блоку, що оцінюємо, мають приблизно однакові ваги. Проби на периферії блоку також увійдуть в оцінку з однаковими вагами, відмінними від ваг для проб в середині блоку. Таким чином, висновок про можливість спрощення рівнянь крайгінга, а отже, і оцінки середнього значення об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах повинен базуватися як на дослідженні мінливості ознак, так і на аналізі геометричних характеристик блоків рудного тіла, що оцінюємо, параметрів розвідувальних мереж. Як показують розрахунки, для малих блоків рудного тіла досить залучити для оцінки три – шість найближчих проб. У цьому випадку для регулярних мереж опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах розрахунки коефіцієнтів будуть проведені заздалегідь для найбільш типових конфігурацій взаємного розташування блоку і проб, які беруть участь в оцінці.

Подібні розрахунки для моделей мінливості об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах, описаних схемами де Вейса і сферичною, наведені в [3]. Аналогічні приклади для експонентної схеми розглянуті в роботі [1]. При використанні комп'ютерних технологій для знаходження оцінок середніх значень об'ємно-якісних показників корисних копалин надр у таких блоках у випадках відхилень від стандартних умов алгоритмічно зручніше вирішувати задаючи число проб, що беруть участь в оцінці, або межі ореола, у межах якого проби залучаємо до оцінки. В обох випадках порядок системи рівнянь крайгінга не перевищує шести. Якщо лінійні розміри блоків перевершують середню відстань між пробами в декілька разів, а об'єми блоків набагато менші об'єму корисних копалин рудного поля, у якому вони перебувають, то оцінка об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах буде спрощена. При цьому число проб, що попадають в блок оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин об'єму v , дорівнює n , а число всіх проб у межах поля V дорівнює N . Тоді в якості оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах використаємо вираз

$$\tilde{C} = \lambda C_n + (1 - \lambda) \bar{C}_N, \quad (1)$$

де $\bar{C}_n = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n C_k$ – середня арифметична оцінка об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах по пробах у середині блоку рудного поля v ; $\bar{C}_N = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N C_m$ – середня арифметична оцінка об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах по пробах усього рудного поля корисних копалин V .

Припустивши, що проби в межах блоку v розташовані випадково і сам блок розташований випадково в рудному полі корисних копалин тіла V (гіпотеза випадкового крайгінга), то вирази для оцінки і дисперсії об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах будуть мати вид

$$\lambda = \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2 + \frac{n}{N-n} \sigma_v^2};$$

$$\sigma_k^2 = (\sigma_n^2 - \sigma_v^2) \left[1 - \frac{\sigma_n^2 - \sigma_v^2}{\frac{N}{N-n} \left(\sigma_n^2 + \frac{n}{N-n} \right) \sigma_v^2} \right], \quad (2)$$

де $\sigma_n^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{k=1}^n \sum_{m=1}^n K(|\bar{r}_k - \bar{r}_m|)$.

Якщо число проб N по всьому рудному полю корисних копалин V перевершує число проб n в середині блоку v , що оцінюємо, то отримуємо наближені формули

$$\lambda \approx \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2}; \quad \sigma_k^2 = \left(1 - \frac{\sigma_v^2}{\sigma_n^2}\right) \sigma_v^2. \quad (3)$$

Параметри оцінки і дисперсії крайгінга блоку v залежать від числа проб і від характеристик автокореляційної $K(r)$ або структурної $S(r)$ функцій. Таким чином, при оцінці великих і малих блоків рудного поля корисних копалин громіздкі рівняння крайгінга, що отримані у загальній теорії, значно спрощенні і розрахунки проведені при відсутності закономірної складової в розміщенні об'ємно-якісних показників ознаки $C(X, Y, Z)$.

При наявності тренда, всі розглянуті наближення стають неправомочними. У цьому випадку необхідно виділити тренд, використовуючи, метод найменших квадратів. Коефіцієнти рівняння тренда, обумовлені при цьому методі не зміщені, однак вони не мінімізують дисперсію, якщо відхилення значень об'ємно-якісних показників ознаки від тренда автокорельованні. При визначенні тренда досліджуємо відхилення на автокореляцію. При її наявності оцінки коефіцієнтів автокореляції, що обчислюємо по різницях, будуть зміщеними.

Геостатистичні розрахунки для відхилень від тренда, що обумовлений методом найменших квадратів, можуть виявитися неефективними, тому необхідно враховувати автокореляції відхилень при підборі рівнянь тренда. Такий підхід до оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах є універсальний крайгінга. У такому обліку немає необхідності, якщо число точок опробування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах більше 100. У протилежному випадку варто видозмінити підхід до проблеми оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин, що приводить до рівнянь крайгінга.

Методика універсального крайгінга дозволяє зменшити зсув оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах. Припустивши, що значення об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах можна представити у вигляді

$$C(r) = m(r) + R(r), \quad (4)$$

де $m(r)$ – закономірна складова (тренд); $R(r)$ – відхилення, що представляють значення реалізації стаціонарної випадкової функції об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах з нульовим математичним очікуванням, тобто

$$M[C(r)] = m(r) \text{ і } M[R(r)] = 0.$$

Рівняння тренда представимо у вигляді лінійної комбінації відомих функцій об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах $\varphi_k(x)$

$$m(r) = b_1\varphi_1(r) + b_2\varphi_2(r) + \dots + b_q\varphi_q(r). \quad (5)$$

Оптимальний вибір коефіцієнтів b_q і становить сутність універсального крайгінга. Якщо відоме значення показника C у точках r_i , тобто $C_i = C(r_i)$, причому число проб N перевершує число коефіцієнтів у рівнянні тренда $q(N > q)$. Тоді

$$C_i = m(r_i) + R(r_i); \quad (6)$$

$$m(r_i) = b_1\varphi_1(r_i) + b_2\varphi_2(r_i) + \dots + b_q\varphi_q(r_i), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (7)$$

Оцінку компонента $m(r)$ у точці r_0 знайдемо у вигляді лінійної комбінації

$$\tilde{m}(r_0) = \sum_{i=1}^N p_i C_i. \quad (8)$$

Умова не зміщення такої оцінки

$$M[\tilde{m}(r_0) - m(r_0)] = 0. \quad (9)$$

Підставивши (6) і (8) в (9), отримаємо

$$\sum_{i=1}^N p_i \varphi_k(r_i) = \varphi_k(r_0), \quad k = 1, 2, \dots, q. \quad (10)$$

Додатковою умовою є вимога мінімуму дисперсії оцінки \tilde{m}

$$M[\tilde{m}(r_0) - m(r_0)]^2 = \min. \quad (11)$$

Мінімізація дисперсії методом множників Лагранжа приводить до системи рівнянь універсального крайгінга

$$\sum_{j=1}^q Q_{ij} b_j = P_j, j = 1, 2, \dots, q, \quad (12)$$

де Q_{ij} – елементи матриці опробування об’ємно-якісних показників корисних копалин у надрах Q з q рядками і N стовпцями, причому $Q = \Phi^T S^{-1} \Phi$, де $\Phi = \|\varphi_{ij}(x_i)\|$; Φ^T – матриця, транспонована стосовно матриці Φ ; S^{-1} – матриця, зворотна матриці коваріаційної функції відхилень у точках опробування об’ємно-якісних показників корисних копалин у надрах S , елементи визначаємо як

$$S_{ij} = M[R(r_i)R(r_j)], i, j = 1, 2, \dots, N.$$

У свою чергу, P_j представляє собою елементи вектора-стовпця P : $P = \Phi^T S^{-1} F$, де F – вектор-стовпець, елементи якого сутність значення показника C_i у точках опробування об’ємно-якісних показників корисних копалин у надрах $r_i (i = 1, 2, \dots, N)$.

Оцінку тренда в довільній точці r_0 знаходимо з виразу

$$\tilde{m}(r_0) = \sum_{k=1}^q \tilde{b}_k \varphi_k(r_0). \quad (13)$$

Для знаходження оцінки об’ємно-якісних показників корисних копалин у надрах в точці r_0 необхідно оцінити також компоненту $R(r_0)$. Проводячи крайгінг у відповідність до загальної теорії і враховуючи, що $M[R(r)] = 0$, отримаємо вираз оцінки об’ємно-якісних показників корисних копалин у надрах

$$\tilde{R}(r_0) = S_0 S^{-1} \tilde{R}, \quad (14)$$

де $S_0 = (S_{01}, S_{02}, \dots, S_{0N})$ – вектор-рядок, елементи якого $S_{0i} = M[R(r_i)R(r_0)]$; R – вектор-стовпець із елементами $f_i - \tilde{m}(r_i)$.

Розглянуті геостатистичні методи оцінки об’ємно-якісних показників корисних копалин у надрах (дискретний, випадковий і універсальний крайгінг) найбільш ефективні (по точності) в умовах геологічної і статистичної однорідності блоків, що оцінюємо. Однак на більшості родовищ ці умови рідко виконуються, що приводить до необхідності поділу блоків на однорідні об’єми. Нами запропонована модифікація крайгінга – індикаторний крайгінг, який дозволяє одержати ефективну геостатистичну оцінку об’ємно-якісних показників корисних копалин у надрах в блоках, що складенні різнотипними корисними копалинами. Сутність методу полягає в наступному. Поряд зі звичайними варіограмами вмістів якісних показників для кожного типу корисних копалини будують індикаторні варіограми. Для цього вводимо індикаторні мінливості $I(x) = 1$, якщо проба в точці x віднесена до корисних копалини даного типу і $I(x) = 0$, у випадку якщо проба в точці x віднесена до корисних копалини іншого типу. Отже для n типів корисних копалин уведуться n індикаторних мінливих $I_i (i = 1, 2, \dots, n)$. Потім будують варіограми для індикаторних мінливих. Після побудови моделі мінливості проводимо звичайний крайгінг індикаторних мінливих у заданому блоці. Отримані оцінки $I_1^*, I_2^*, \dots, I_n^*$ представляють собою відносні частки корисних копалин кожного типу в блоці.

Після оцінки результати уточнюємо у такий спосіб. Мінімізуємо

$$\sum_{i=1}^n \omega_i [I_i - I_i^*] = \min$$

при обмеженнях

$$\begin{cases} I_1 + I_2 + \dots + I_n = 1; \\ I_1 \geq 0; I_2 \geq 0; \dots; I_n \geq 0, \end{cases}$$

де ω_i – вагові коефіцієнти, які задані заздалегідь, у найпростішому випадку $\omega_i = 1/n$.

У такій постановці остаточні оцінки I_i знаходимо методом квадратичного програмування.

Якщо відомі варіограми для вмістів Z_i по кожному типу корисних копалин, то середній вміст якісних показників у блоці знаходимо таким же способом. Тобто спочатку визначаємо оцінки за допомогою крайгінга мінливості $Z_1^*, Z_2^*, \dots, Z_n^*$, потім методом квадратичного програмування знаходимо остаточні оцінки Z_1, Z_2, \dots, Z_n , виходячи з виразу

$$\sum_{i=1}^n \omega_i (Z_i - Z_i^*)^2 = \min$$

при обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n l_i Z_i = Z; Z_i \geq 0,$$

де Z – оцінка крайгінга в блоці по усередненій варіограмі по всіх типах корисних копалин.

Для обґрунтування доцільності включення в систему маркшейдерсько-геологічного управління вмістом якісних показників корисних копалин і залізородної сировини найбільш ефективних (по точності) математичних методів прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників корисних копалин на великому фактичному матеріалі по експлуатованих залізородних родовищах було проведено порівняння розглянутих вище модифікацій крайгінга із трьома найбільш часто застосовуваними на практиці традиційними методами: середньозваженого арифметичного; зі зважуванням назад пропорційно квадратам відстаней; зі зважуванням з урахуванням анізотропії.

У результаті порівняння встановлена залежність точності оцінок об'ємно-якісних показників корисних копалин, що отриманні різними методами від виду моделі мінливості кількості інформації, розмірів і просторового співвідношення блоків, що оцінюємо і розвідувальної мережі. Дані порівняння методів прогнозування об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння методів прогнозування характеристик об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах

Вид моделі прогнозування мінливості об'ємно-якісних показників корисних копалин	Похибка оцінок (%), що отриманні методами						
	середньозваженого арифметичного	зважуванням назад пропорційно квадратам відстаней	зі зважуванням і обліком анізотропії	дискретний крайгінг	випадковий крайгінг	універсальний крайгінг	індикаторний крайгінг
$C_{Fe_{загальне}} = C_T + C_K + C_C$	12,3	11,8	11,7	9,2	10,3	8,1	7,7
$C_{Fe_{магнетитов}} = C_K + C_C$	18,3	18,0	18,3	16,1	15,1	15,4	14,4
$C_{Fe_{окислене}} = C_K + C_C$	8,7	8,4	8,7	8,1	8,5	8,2	7,8

Примітка. C_T – закономірна складова (тренд); C_C – випадкова (некорелюєма) складова, яку характеризує деякий законом розподілу; C_K – випадкова (корелюєма) складова, що представляє собою реалізацію стаціонарної випадкової функції і характеризує автокореляційна (або структурна) функція

Розглянуто оцінку блоків малого і великого розмірів з різним числом розвідувальних даних у блоках і за межами. Ефективність методів визначалася по величині відносної похибки оцінок у порівнянні їх з фактично вимірюваними значеннями на відпрацьованих ділянках залізистих кварцитів родовищ.

Висновки та напрямок подальших досліджень. З наведених даних слідує, що універсальний крайгінг, що враховує автокореляції відхилень при підборі рівнянь тренда, дає помітно кращі результати для блоків малого розміру. При відсутності тренда методи оптимального статистичного оцінювання характеризуються меншою похибкою, величина якого залежить від відносного внеску C_K у загальну мінливість. Дискретний крайгінг дає тим меншу похибку у

порівнянні з іншими методами, чим більше корелюємо випадкова складова. Результати, які отриманні всіма методами, по точності порівнянні, якщо випадкова складова C_c превалює. При оцінці якісних показників великих блоків випадковий крайгінг у порівнянні із середньозваженою арифметичною оцінкою дає кращі результати при наявності кореляційної складової C_k і за умови, що величина інтервалу кореляції порівнянна з лінійними розмірами блоку. При випадковому розміщенні ознаки обидва методи по точності оцінок дають фактично однакові результати. Запропонований індикаторний крайгінг є найбільш ефективним серед всіх методів (у тому числі і серед розглянутих геостатистичних) при оцінці якісних показників блоків, які складені корисними копалинами різних типів. Порівняння по точності результатів застосування традиційних і геостатистичних методів при оцінці об'ємно-якісних показників корисних копалин у надрах суперечить теорії оптимального статистичного оцінювання і може бути пояснена тільки невдалим вибором моделі мінливості показників або окремих її параметрів. Детальний аналіз мінливості показників і конкретних умов оцінки об'ємно-якісних показників корисних копалин блоків повинен завжди передувати обґрунтованому вибору математичного методу прогнозування.

Список літератури

1. Аврамов В. Е., Азбель Е. И., Ефремова Н. И. Планирование эксперимента и прогнозирование качества сырья на горных предприятиях. Новосибирск, Наука, 1979.
2. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. М., Мир, 1974.
3. Гудков В. М., Васильев В. М., Николаев К. П. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. М., Недра, 1976.
4. Геометризація родовищ корисних копалин : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво». / В. Д. Сидоренко, П. Й. Федоренко, М. В. Шолох, А. В. Переметчик, Т. О. Подоїніцина. – Кривий Ріг : Видавничий центр КТУ, 2008. – 367 с.
5. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М., Мир, 1968.
6. Марголин А. М. Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. М., Недра, 1974.
7. Шолох Н. В. Горно-геометрический мониторинг прогнозирования качественных показателей железорудных месторождений / Н. В. Шолох // Сб. научных трудов второго международного симпозиума 12–17 июля 1999 года «Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке». – Ялта, 1999. – С. 218–220.
8. Шолох Н. В. Прогнозирование показателей геохимического поля месторождений железистых роговиков Кривбасса / Н. В. Шолох // Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог, 2005. – Вып. 89. – С. 144–147.
9. Шолох Н. В. Выбор оптимальной методики оценки исходных геологических данных при прогнозировании качественных показателей железорудных месторождений / П. И. Федоренко, Н. В. Шолох, А. В. Переметчик // Научно – техн. сборник «Разраб. рудн. месторождений». – Кривой Рог, 2007. – Вып. 91. – С. 102–106.
10. Шолох М. В. Прогнозування якісних показників корисних копалин при комплексному освоєнні родовища / М. В. Шолох, О. Л. Топчій // Зб. наукових праць «Вісник КНУ». – Кривий Ріг, 2012. – Вип. 32. – С. 241–245.
11. Шолох М. В. Моніторинг прогнозування показників корисної копалини родовища на основі стохастичного моделювання відомостей і взаємозалежних динамічних рядів / М. В. Шолох, М. П. Сергієва // Сб. материалов международной научно – техн. конференции 23–25 мая 2013 года. – Донецк : ДонНГУ, 2013. – Вып. 3. – С. 47–52.
12. Шолох М. В. Моделювання динамічних рядів прогнозування якісних показників руди і корисної копалини у рудній сировині / М. В. Шолох // Науково – техн. збірник «Гірничий вісник» ДВНЗ «КНУ». – Кривий Ріг, 2016. – Вип. 101. – С. 49–55.
13. Шолох М. В. Методика визначення і нормування вмісту якісних показників корисних копалин у промислово-балансових запасах / М. В. Шолох. – Кривий Ріг: Видавничий центр ДВНЗ «КНУ», 2016. – 160 с.
14. Kwa B. L. Mousset-Jones P. F. Indicator approach to the mineral reserve estimation of a gold deposit in Nevada – In: 18 th Int. Symp. APCOM; London, 1984, p. 343–366.
15. Sholokh M. V. Mine surveying support for internal career averaging of qualitative indicators of minerals in the quarry ore line / M. V. Sholokh // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 173.
16. Sholokh M. V. Variance in the ready-to-extract balance industrial deposits with a view of the planned performance of the producing units / M. V. Sholokh, M. P. Sergieva // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 175.
17. Sholokh M. V. Methodology for the standardization losses of ready-to-extract solid minerals / M. V. Sholokh // For participation in the 2nd International Scientific and Technical Internet Conference «Innovative Development of Mining Industry». December 14, 2017, Kryvyi Rih. – s. 179.

Рукопис подано до редакції 05.04.2018