УДК 553.043

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.1.12-14>

О. С. ПРОКОПЕНКО, технік-геолог (ТОВ "Геологічна сервісна компанія ГСК"), alex.prokop2206@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6817-1696>,
М. М. КУРИЛО, канд. геол. наук, доцент (Київський національний університет імені Тараса Шевченка), kurilo@mail.univ.kiev.ua,
С. М. КУЛИК, канд. геол. наук (Правобережна ГЕ ДП "УГК"), furgeol@ukr.net

O. PROKOPENKO, geo technician ("Geological service company GSC" LLC), alex.prokop2206@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6817-1696>,
M. KURYLO, Ph. D. in geology, assistant professor (Institute of Geology Taras Shevchenko National University of Kyiv), kurilo@mail.univ.kiev.ua,
S. KULYK, Ph. D. in geology (Pravoberezhna GE State Enterprise "UGK"), furgeol@ukr.net

ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ БОРТОВОГО ВМІСТУ ЗА ДОПОМОГОЮ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ НА ПРИКЛАДІ ВІТЧИЗНЯНИХ РОДОВИЩ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ

DETERMINATION AND CHOICE OF OPTIMAL CUT-OFF GRADE VALUE USING 3D MODELING ON THE EXAMPLE OF DOMESTIC BIF DEPOSITS

Одним з основних етапів під час підрахунку запасів є визначення бортового вмісту. Бортовий уміст розраховують на основі техніко-економічної оцінки, яка охоплює всі геологічні, економічні, технологічні й соціальні аспекти. Використовуючи тільки геологічну інформацію, можна вирахувати найсприятливіший бортовий уміст за допомогою геостатистики.

Основним параметром кондиції, який визначає якість запасів залізистих кварцитів, що потребують збагачення магнітною сепарацією, є бортовий уміст корисного компонента $Fe_{\text{магн}}$. У праці запропоновано методику вибору оптимальних значень бортового вмісту під час оцінки родовищ залізистих кварцитів на прикладі родовища Західного Приазов'я. Для визначення оптимальних бортових умістів за допомогою геостатистики й просторового моделювання проаналізовано динаміку зміни кількості запасів унаслідок зміни бортового вмісту, а також зважено на коливання середніх умістів корисних компонентів. Обґрунтовано оптимальні значення бортового вмісту $Fe_{\text{магн}}$, пов'язаного з магнетитом, у межах 12–14 %.

Зона найбільшої динаміки зміни кількості запасів зі збільшенням бортового вмісту в межах 12–18 % поза цим інтервалом коливання кількості запасів руди зі зміною бортового вмісту є мінімальною.

Ключові слова: бортовий уміст, залізисті кварцити, каркасна модель, блокова модель.

Ukraine is in 10 countries with the largest reserves of iron ores, and the iron ore industry and metallurgical complex are budgetary sectors economically important for the country. For now the mining and metallurgical complex is experiencing not the best of times, and experts say that Ukraine is not using its potential, as it should. One of the main steps in inventory calculation is the determination of boundary value. Boundary value is calculated on the basis of geological, economic, technological and social aspects. Using only geological information, you can calculate the most favorable boundary value using geostatistics.

The main cut-off parameter that determines reserves quality of ferruginous quartzites, which require enrichment by magnetic separation, is iron associated with magnetite $Fe_{\text{магн}}$. The paper proposes a tool for choosing the optimal cut-off grade values for evaluating BIF deposits using the example one of the West Azov group deposit. Comparison of cut-off parameters for reserves calculation of iron ores within the Azov Group deposits is carried out.

To find the optimal cut-off grade $Fe_{\text{магн}}$ using geostatistics and spatial modeling, we analyzed the dynamics of changes in the amount of reserves from changes of cut-off grade Fe . Fluctuations in average Fe grade also were taken into account. The paper substantiates the optimal cut-off grade values of Fe associated with magnetite in the range of 12–14 %.

The interval of the largest changes in reserves quantity with an increase is fixed for range of 12–18 %. Beyond this interval there is a minimal fluctuation of ore reserves quantity as a result of cut-off grade's changes.

In order to find optimal cut-off grade values using geostatistics and spatial modeling, it is necessary to follow the dynamics of reserves' quantity changes depend on Fe cut-off grade, as well as to take into account average Fe grade fluctuations when changing cut-off grade.

Keywords: cut-off grade, ferruginous quartzites, wireframing model, block modeling.

Вступ. Україна входить до десяти країн світу з найбільшими запасами залізних руд, а залізорудна промисловість і металургійний комплекс є бюджетотвірними галузями економіки, що мають для країни стратегічне значення. Відомі запаси і ресурси залізних руд локалізовані в межах п'яти основних залізорудних басейнів і районів: Криворізький басейн і Білозерський район багатих гематит-мартитових і магнетитових руд та магнетитових кварцитів; Кременчуцький і Приазовський райони магнетитових кварцитів; Керченський басейн бурих залізників. Державним балансом запасів корисних копалин України враховано 60 родовищ залізних руд, з яких 26 перебувають на стадії

розроблення. Загальні розвідані балансові запаси залізних руд становлять 19725,9 млн т, попередньо оцінені за категорією C_2 – 7367,8 млн т, позабалансові – 4546,3 млн т [2]. Багаті залізні руди і залізисті кварцити добувають на родовищах Криворізького, Кременчуцького та Білозерського залізорудних басейнів.

Попри великі запаси та ресурси, вітчизняна мінерально-сировинна база має певні проблеми із забезпеченням гірничодобувних підприємств якісними рудами. Якість запасів залізних руд визначається параметрами кондиції для підрахунку запасів, які вибирають і обґрунтовують під час проведення геолого-економічної оцінки.

Аналіз останніх досліджень і окреслення не вирішених раніше проблем. Підрахунок запасів залізних руд у вітчиз-

няній практиці ґрунтується на положеннях Інструкції із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр до родовищ руд чорних металів (заліза, марганцю та хрому) [1], а обґрунтування вибраних параметрів кондицій – на Положенні про порядок розробки та обґрунтування кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах [3]. Згідно з названими документами перелік кондицій для підрахунку запасів залізних руд містить показники, які встановлюють граничні вимоги до якості та кількості мінеральної сировини в надрах, гірничо-геологічних умов залягання, гірничотехнічних та інших умов розроблення продуктивних покладів.

Метою дослідження є обґрунтування методики вибору оптимальних значень бортового вмісту під час оцінки родовищ залізистих кварцитів. У вітчизняній і міжнародній практиці оцінки зазвичай використовують вміст заліза, пов'язаного з магнетитом ($Fe_{\text{магн}}$). З'ясування бортових значень для підрахунку запасів має бути прийнятним і ефективним як для власника надр, так і надрокористувача.

Виклад основного матеріалу. Головними показниками кондицій для залізних руд у вітчизняній практиці є такі [3]: мінімальний промисловий вміст корисного компонента ($Fe_{\text{заг}}$, $Fe_{\text{магн}}$); бортовий вміст корисного компонента; мінімальний вміст корисного компонента в крайовому перетині; мінімальний промисловий вміст корисного компонента; максимально допустимий вміст шкідливих домішок у корисній копалині; мінімальна потужність покладів корисних копалин або відповідний мінімальний метропроцент; максимально допустима потужність прошарків порід і некондиційних руд, які охоплює контур підрахунку запасів; мінімальний коефіцієнт рудоносності (продуктивності) у підрахунковому блоці розвіданих запасів; мінімальні запаси віддалених покладів корисних копалин; максимально допустиме співвідношення

потужностей розкривних порід і корисної копалини в крайовому і внутрішньому перетині; межі підрахунку запасів.

Вибір перелічених параметрів кондицій може мати різні обґрунтування, що залежить від ступеня геологічного й техніко-економічного вивчення об'єкта. Головними напрямками обґрунтування можуть бути: 1) емпіричні дані ефективно розроблюваних залізрудних родовищ конкретного геолого-промислового й технологічного типу; 2) прямий розрахунок параметрів; 3) вихідні технічні й технологічні дані добувних підприємств, які розробляють родовище.

Основним параметром кондицій, який визначає якість запасів залізних руд, є бортовий вміст корисного компонента – мінімальний вміст корисного компонента в пробі, залучений до підрахунку запасів під час оконтурювання продуктивного покладу в перетині гірничою виробкою, якщо немає чіткого геологічного контакту.

Бортовий вміст заліза магнетитового в крайовій пробі об'єкта дослідження становить 12 %. Параметри кондицій обґрунтовано основними техніко-економічними показниками під час детальної геолого-економічної оцінки.

Методика ґрунтується на використанні інструментів блокового моделювання, оскільки це найсучасніший спосіб підрахунку запасів, і дає змогу оперативно отримувати багатоваріантні розрахунки кількості і якості запасів з різними бортовими значеннями $Fe_{\text{магн}}$.

Об'єктом вивчення є родовище з групи родовищ Західного Приазов'я, яке в геоструктурному плані приурочене до витягненої в північно-західному напрямку синклінальної складки.

Зіставлення параметрів кондицій для підрахунку запасів залізних руд родовищ Приазовської групи наведено в табл. 1.

Для вибору оптимального бортового вмісту стосовно цього об'єкта було проведено оцінку запасів за допомогою каркасного й блокового моделювання (рис. 1–4).

Таблиця 1. Зіставлення параметрів кондицій для підрахунку запасів залізних руд родовищ Приазовської групи

Родовища Приазовської групи	Бортовий вміст заліза магнетитового в крайовій пробі, %	Мінімальний промисловий вміст заліза магнетитового в підрахунковому блоці, %	Мінімальна промислова потужність рудних тіл, м	Максимальна потужність внутрішньорудних прошарків пустих порід і некондиційних руд, залучених до підрахунку запасів, м
Гуляйпільське	12		10	10
Маріупольське	14	16	10	15
Куксунгурське	14	16	10	10
Васинівське	16		10	10
Об'єкт оцінки	12		10	10

Рис. 1. Каркасна модель залізрудного родовища

Рис. 2. Блокова модель родовища

Рис. 3. Блокова модель з бортовим умістом заліза магнетитового 12 %

Рис. 4. Блокова модель з бортовим умістом заліза магнетитового 16 %

Рис. 5. Залежність кількості запасів від різних значень бортових умістів

Таблиця 2. Зіставлення обсягів запасів для варіантів бортового вмісту в інтервалі 12–18 %

Мінімальний бортовий уміст, %	Частка “природних запасів” Fe, залучена до кількості балансових запасів, %
12	92,2
14	64,1
16	29,2
18	10,9

Інтерполяцію вмістів корисних компонентів у блоковій моделі виконано методом IDW (Inverse distance weighting – метод зворотних відстаней) без обмеження ураганих умістів.

Висновки. Інструменти просторового моделювання дають змогу максимально оперативно визначати найефективніше значення бортового вмісту для підрахунку запасів. Для цього об'єкта дослідження – родовище магнетитових кварцитів Приазовської групи – обґрунтовано оптимальні значення бортового вмісту в межах 12–14 %. На рис. 5 наведено зону найбільшої динаміки зміни кількості запасів зі збільшенням бортового вмісту в межах 12–18 % (табл. 2). Поза межами цього інтервалу коливання кількості запасів руди зі зміною бортового вмісту – мінімальне.

Для з'ясування оптимальних бортових умістів за допомогою геостатистики й просторового моделювання варто простежити динаміку зміни кількості запасів зі зміною бортового вмісту, а також зважити на коливання середніх умістів корисних компонентів зі зміною бортового вмісту. У визначених межах з найбільшою динамікою варто провести кореляційний і регресійний аналізи зміни середніх умістів корисного компонента в руді й об'ємів руди в разі збільшення бортового вмісту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ руд чорних металів (заліза, марганцю та хрому). // <http://dkz.gov.ua/ua/diyalnist/normativno-pravova-baza>.
2. Мінеральні ресурси України. – Київ: Державне науково-виробниче підприємство “Державний інформаційний геологічний фонд України”; 2017. – 268 с.
3. Положення про порядок розробки та обґрунтування кондицій на мінеральну сировину для підрахунку запасів твердих корисних копалин у надрах, затверджене наказом ДКЗ від 7.12.2005 № 300.

REFERENCES

1. Instructions for the application of the Classification of mineral resources and resources of the State Fund for the Mining of Ferrous Ores (iron, manganese and chromium). <http://dkz.gov.ua/ua/diyalnist/normativno-pravova-baza>. (In Ukrainian).
2. Mineral resources of Ukraine. – Kyiv: Derzhavne Naukovo-vyrobnyche pidpriemstvo “Derzhavnyi informatsiyni heolohichnyi fond Ukrainy”; 2017. – 268 p. (In Ukrainian).
3. Regulations on the procedure of development and justification of mineral raw materials to calculate mineral resources in the bowels// Zatverdzhene nakazom DKZ vid 7.12.2005 № 300. (In Ukrainian).

Рукопис отримано 18.09.2019.