

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОМУ ОЦІНЮВАННІ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН (НА ПРИКЛАДІ ГІС K-MINE)

Г.І. Рудько¹, О.В. Нецький¹, М.В. Назаренко²

¹Державна комісія України по запасах корисних копалин (Україна), office@dkz.gov.ua

²ТОВ «Науково-виробниче підприємство КАІ» (Україна), mail@kai.ua

Розглянуто питання щодо застосування геоінформаційної системи K-MINE при побудові автоматизованих інформаційно-аналітичних систем для управління роботою об'єктів надрокористування. Описано модуль геолого-економічного оцінювання родовищ корисних копалин геоінформаційної системи K-MINE, розробленої співробітниками ТОВ «Науково-виробниче підприємство «КАІ» (м. Кривий Ріг). Цей модуль — універсальний інструмент, за допомогою якого можна узагальнювати результати обґрунтування параметрів кондицій на мінеральну сировину, підраховувати запаси корисної копалини, розраховувати економічні показники відпрацювання родовища. Як складова частина ГІС K-MINE модуль разом із комплексом геолого-маркшейдерського забезпечення дає змогу виконувати роботи зі створення цифрових моделей родовищ корисних копалин, їх геолого-економічного оцінювання, оформлення результатів робіт і підготовки звітної документації.

Ключові слова: ГІС K-MINE, геоінформаційна система, родовище корисних копалин, геолого-економічне оцінювання, блокове моделювання, шаблон CRIRSCO.

Вступ. Більшість підприємств, що проводять геологорозвідувальні роботи (ГРР), застосовують спеціальні програмні засоби та інформаційні системи, які пришвидшують процеси обробки й аналізу геологічної інформації, сприяють автоматизації процесів обробки та інтерпретації результатів ГРР, використанню їх для моделювання родовищ (чи окремих ділянок), виконання різних розрахунків та оцінок.

Для вирішення спеціалізованих геологічних завдань розроблено понад 1000 різноманітних комп'ютерних програм, пакетів і систем (Carlson software Inc., CMC Limited, Datamine — Mineral Industries Computing Ltd, ECS Mining Software, Exploration Computer Services Inc., Forsman Consulting Engineers, Fractal Graphics for Mining, Galena, Gemcom Services Inc., Geomem, Geosoft, Geosolution Resources Inc. та ін.) [3].

Серед існуючих методів і підходів до оцінювання ресурсів надр важливу роль відіграють ті з них, що реалізовані в геоінформаційних системах (ГІС). Коло питань, які вирішують сучасні ГІС, постійно розширюється в міру розвитку і вдосконалення математичних методів опису геологічного середовища та процесів, що в ньому відбуваються. Стосовно надрокористування основними є питання підрахунку запасів родовищ корисних копалин, їх геолого-економічного оцінювання, створення оптимальної системи розробки родовища, впливу на навколишнє природне середовище тощо.

Геолого-економічне оцінювання (ГЕО) родовищ корисних копалин — це законодавчо визначена процедура, в основу якої покладено Класифікацію запасів і ресурсів корисних копалин, затверджену Урядом

України в 1997 р., що є універсальною для різних корисних копалин. Створено цю класифікацію на засадах Рамкової класифікації викопних енергетичних і мінеральних ресурсів Організації Об'єднаних Націй (РК ООН 1997). Рамкову класифікацію створено для формування Глобального кодексу звітності про запаси і ресурси корисних копалин.

Сучасний розвиток РК ООН спрямований на досягнення Цілей стійкого розвитку (ЦСР), сформульованих у 2015 р. і узгоджених майже всіма країнами-членами ООН, зокрема Україною. У зв'язку з цим РК ООН має на меті не лише класифікацію ресурсів за певними критеріями, а й власне систему управління ресурсами для досягнення ЦСР і її використання на різних рівнях.

Важливим чинником розвитку ГІС, які успішно застосовують у практиці геологічних досліджень на різних стадіях вивчення, оцінювання та експлуатації родовищ корисних копалин, є забезпечення управління цими ресурсами надр.

Використання ГІС при ГЕО розширює можливості оцінювання родовища: від створення його математичної моделі (проведення статистичних досліджень, обґрунтування параметрів кондицій і вибору оптимальних з множини варіантів, оконтурення покладів з координатною прив'язкою у просторі без проєкцій на площину, візуалізація та детальний аналіз морфології покладу, уточнення тектонічної будови, встановлення рудоконтрольованих структур) до проведення варіограмного аналізу, інтерполяції вмістів корисних компонентів, підрахунку запасів за створеною геолого-промисловою моделлю та поєднання такої моделі з динамічною економічною моделлю родовища.

Використання ГІС-технологій при проведенні ГЕО сприяє:

- застосуванню динамічних методів оцінювання економічної ефективності освоєння родовищ корисних копалин;
- підвищенню рівня достовірності геологічної інформації про ступінь розвіданості родовища і ризику вкладення інвестицій в освоєння родовищ, об'єднанню кількісної оцінки розвіданості запасів з економічною оцінкою;
- визначенню оптимального значення бортового вмісту корисного компонента в разі змінних термінів відпрацьовування родовищ за варіантами оконтурювання запасів корисних копалин;
- вибору оптимальної виробничої потужності з видобування корисної копалини та виробництва товарної продукції залежно від інтенсивності відпрацьовування родовища і терміну його експлуатації;
- виконанню техніко-економічного обґрунтування кондицій для підрахунку запасів корисних копалин, що забезпечують повніше й найраціональніше їх використання;
- оптимізації інвестицій, параметрів оцінювання і розробки родовищ;
- підвищенню рівня достовірності ГЕО родовищ корисних копалин за результатами багатоваріантного аналізу.

Використання спеціалізованих пакетів (векторизаторів, програм для завантаження даних з GPS, пакетів статистичних і геостатистичних розрахунків та ін.) дає змогу виконувати окремі операції з обробки даних або їх підготовки для застосування у гірничо-геологічних системах.

Гірничо-геологічні системи (GEOVIA, Micromine, Datamine та ін.) найчастіше застосовують під час ГЕО для моделювання родовищ і підрахунку запасів корисних копалин.

З 2009 р. у Державній комісії України по запасах корисних копалин (ДКЗ) спільно з ТОВ «Наукововиробниче підприємство «КАІ» (м. Кривий Ріг) розпочато роботи щодо розробки алгоритмів для підрахунку запасів і ресурсів різних видів корисних копалин з метою їх переведення із однієї системи класифікації в іншу. На шляху до гармонізації запасів у різних системах класифікації виділяють напрям, що ґрунтується на використанні при підрахунку запасів і ресурсів родовищ корисних копалин у різних системах класифікації тривимірних цифрових моделей і спеціального програмного забезпечення з подальшим зіставленням отриманих результатів. Базовим інструментом, використаним у роботі, є ГІС K-MINE.

Розроблено основні принципи, що реалізовані в модулі ГІС K-MINE — Автоматизованій системі ГЕО запасів родовищ корисних копалин (АС ГЕО K-MINE), в якій використано загальноприйняті у світі підходи до інтерпретації даних розвідки, оконтурення рудних тіл і зон мінералізації, каркасного

моделювання родовища і поверхонь, варіографії, інтерполяції просторових значень із використанням геостатистичних методів, блокового моделювання, оцінювання запасів. Більшість операцій з інтерпретації, оконтурення і каркасного моделювання виконують в автоматичному режимі.

Основні завдання, що вирішує АС ГЕО K-MINE, такі:

1) аналіз та узагальнення матеріалів ГЕО родовищ корисних копалин, що подані на розгляд до ДКЗ, даних щодо ГРР, проведених на родовищі, технології розробки родовища, техніко-економічних показників розробки родовища, запасів корисних копалин тощо;

2) створення інформаційних аналогових моделей родовищ корисних копалин на підставі геологічних, технологічних, економічних, екологічних показників розвідки та розробки родовищ корисних копалин, що містяться в поданих на розгляд до ДКЗ матеріалах ГЕО, і механізмів порівняння цих моделей;

3) формування бази даних методичних недоліків (зауважень) щодо змісту матеріалів ГЕО, методики виконаних робіт, їх результатів і встановлених експертами ДКЗ під час розгляду матеріалів ГЕО родовища у ДКЗ;

4) аналіз якості ГРР на родовищах для різних типів корисних копалин, узагальнення та порівняння цієї інформації для певних періодів часу, різноманітної вибіркової інформації, що стосується результатів ГЕО окремого родовища і групи родовищ одного типу;

5) формування звітної документації.

Важливим етапом робіт на завершальній стадії розвідки родовища, спрямованих на визначення можливості його подальшої експлуатації в сучасних економічних умовах, є ГЕО родовищ корисних копалин.

За допомогою геоінформаційної інтегрованої системи K-MINE можливе виконання ГЕО родовища з використанням базових можливостей комплексу геолого-маркшейдерського забезпечення гірничих робіт, а також АС ГЕО K-MINE [5, 8].

Нижче описано етапи ГЕО з використанням ГІС, які виконують у такій послідовності:

1) накопичення інформації у базі даних геологічних виробок;

2) інтерпретація даних, обґрунтування кондицій;

3) виділення та оконтурення покладів у плані та на розрізах;

4) у разі підрахунку запасів на підставі блокових моделей оконтурення в реальному просторі без побудови проєкцій на площину;

5) каркасне моделювання просторових об'ємів;

6) варіографія і виявлення просторової змінюваності геологічних характеристик корисних компонентів та/або шкідливих домішок;

7) блокове моделювання та інтерполяція вмісту корисного компонента у просторі;

8) підрахунок запасів;

9) створення геолого-промислової моделі з урахуванням чинників видозмін (гірничотехнічні межі, правові аспекти та ін.)

10) економічне моделювання.

Модуль ГЕО родовищ корисних копалин призначений для виконання аналітичних і графічних робіт, пов'язаних з ГЕО родовищ. При виконанні ГЕО з використанням модуля можливе застосування як стандартних («традиційних») методик підрахунку запасів (методи розрізів, геологічних блоків та ін.), так і сучасних просторових методик, які ґрунтуються на геостатистичних методах з використанням каркасних і блокових моделей.

Нижче наведено послідовність етапів робіт при використанні модуля [5].

1. Побудова цифрової моделі родовища і стану гірничих робіт.
2. Створення і наповнення бази даних геологічної інформації.
3. Вибір методу обґрунтування кондицій.
4. Обґрунтування кондицій.
 - 4.1. Підрахунок запасів за варіантами бортового вмісту корисного компонента.
 - 4.2. Розрахунок середнього вмісту корисного компонента за розрахунковими одиницями.
 - 4.3. Підрахунок техніко-економічних показників і вибір оптимального варіанта кондицій.
5. Вибір користувачем методу підрахунку запасів.
6. Підрахунок запасів.
 - 6.1. Побудова моделей рудних тіл.
 - 6.2. Виділення в межах рудних тіл розрахункових одиниць.
 - 6.3. Обчислення середнього вмісту компонентів у контурі підрахунку запасів.
 - 6.4. Складання таблиць підрахунку запасів.
 - 6.5. Обчислення середнього вмісту компонентів по родовищу в цілому.
7. Підрахунок економічних показників експлуатації родовища.
8. Оформлення результатів роботи.

Необхідною умовою проведення ГЕО з використанням автоматизованої системи K-MINE є переведення існуючої гірничотехнічної документації у цифрову форму, створення тривимірних моделей геологічного простору, виїмкових і розрахункових одиниць, створення та наповнення бази даних геологічної документації. Ці роботи здійснюються із застосуванням комплексу геолого-маркшейдерського забезпечення ГІС K-MINE [5].

Вибір методу обґрунтування кондицій базується на інформації про сучасний стан родовища (готують до експлуатації, експлуатують, перебуває у консервації тощо). Кондиції для підрахунку запасів корисної копалини обґрунтовують відповідно до методу, вибраного на попередньому етапі робіт.

Запаси корисної копалини та обсяги розкритих порід за різних варіантів параметрів підрахунку (кондицій) підраховують безпосередньо у середовищі K-MINE. В разі використання «традиційних» методів підрахунку запасів корисної копалини і вмісту компонентів необхідною умовою є наявність геологічних розрізів по розвідувальних профілях, побудованих у графічному просторі моделі (рис. 1) [4].

Якщо запаси і вміст корисного компонента підраховують за просторовими методами, основою яких є каркаси і блокові моделі, то можливий різний ступінь деталізації розрахункового простору — від моделі рудного тіла в цілому до окремих моделей розрахункових блоків (рис. 2).

Загальною умовою для всіх варіантів роботи з модулем є наявність бази даних геологорозвідувальних свердловин.

Оконтурювання розрахункових площ, редагування геологічних розрізів та інші роботи, що передують власне підрахунку запасів, виконують з використанням комплексу геолого-маркшейдерського забезпечення ГІС K-MINE.

Запаси підраховують після оконтурювання рудного тіла у відповідності до всіх обраних варіантів кондицій. В разі використання просторових методів об'ємні параметри виділених рудних тіл і розрахункових одиниць обчислюють методами просторової геометрії (за допомогою поділу на тетраедри і призми для каркасних моделей і підсумовуванням об'ємів паралелепіпедів для блокових моделей), які не потребують втручання користувача для прийняття рішення про використання тієї чи іншої формули підрахунку. В разі використання «традиційних» методик підрахунку запасів користувач має вибирати формули підрахунку, якщо розрізи непаралельні або

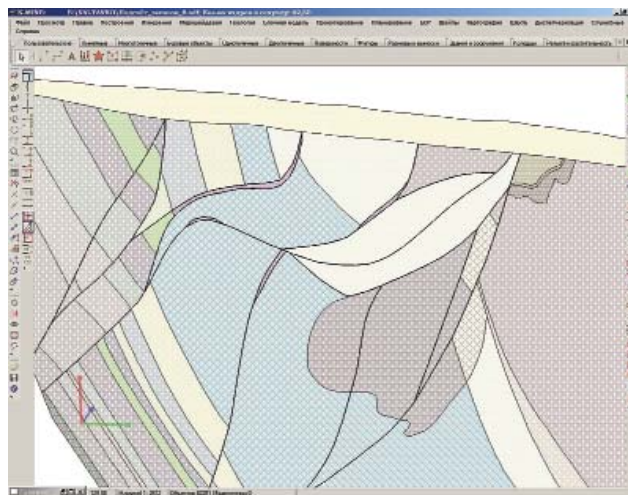


Рис. 1. Приклад геологічного розрізу вздовж розвідувального профілю, побудованого у графічному просторі моделі ГІС K-MINE [4]

Fig. 1. Example of the geological section along the survey profile constructed in the K-MINE GIS model graphic space [4]

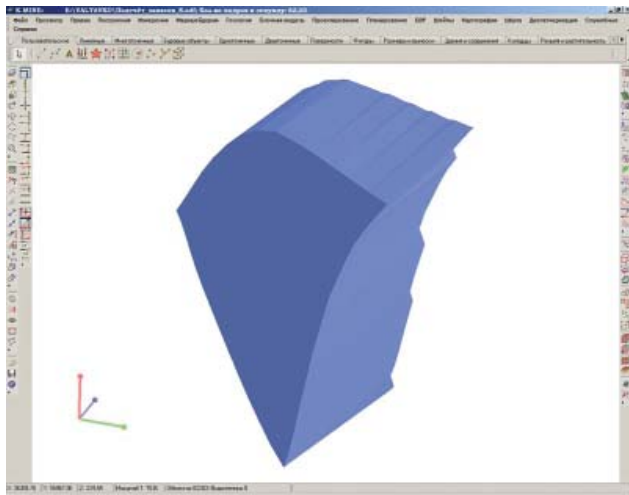


Рис. 2. Приклад каркасної моделі підрахункового блока, виконаної в ГІС K-MINE [4]

Fig. 2. Example of the wire-frame model of the estimation block built in K-MINE GIS [4]

площі розрахункових площин істотно різняться. У модулі реалізовано можливість як автоматичного вибору формул для підрахунку обсягів, так і ручного їх коригування користувачем за допомогою редактора формул.

Середній вміст компонентів обчислюють після винесення даних геологорозвідувальних свердловин з бази даних у простір моделі. При цьому можливе

використання заздалегідь обчислених зон впливу свердловин (еліпсоїдів анізотропії) за підрахунку блочними моделями із застосуванням інтерполяційних методів, а також ручний вибір свердловин за підрахунку «традиційними» методами. Для другого варіанта передбачено можливість прив'язки свердловин і проб до конкретних розрахункових площин з подальшим сортуванням і групуванням при формуванні таблиць підрахунку запасів [4].

Заключною стадією підрахунку запасів під час обґрунтування кондицій є обчислення середнього вмісту корисного компонента в межах родовища або його частини. На цій стадії будують зведені таблиці підрахунку запасів (рис. 3).

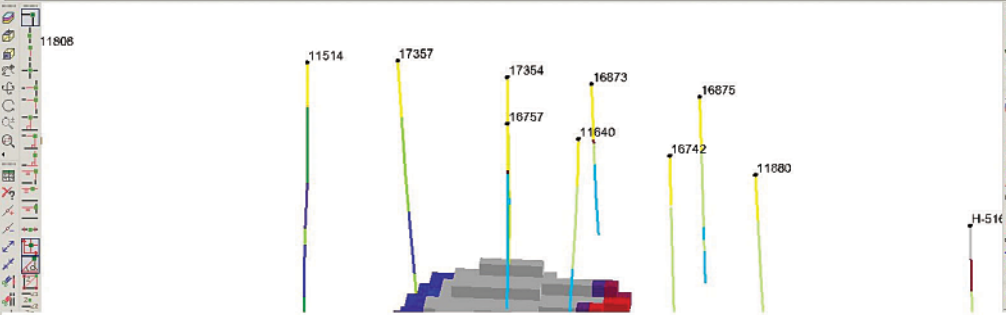
У модулі ГЕО реалізовано можливість присвоєння кожній підрахунковій одиниці декількох індивідуальних реквізитів: розташування у контурі або за межами контуру проекту відпрацювання; приналежність до якої-небудь категорії запасів; приналежність до якої-небудь частини родовища; використання коригувальних коефіцієнтів і т. д. Для всіх реквізитів можливе застосування арифметичних або логічних операцій, після чого будують остаточні розрахункові таблиці у заданому користувачем форматі [4].

На етапі визначення техніко-економічних показників на підставі отриманих якісно-кількісних показників за різних варіантів кондицій також використовують інтерфейс розрахункових таблиць.

К-МІНЕ: E:\VALYAVKO\Підрахунок_запасів_8_01\Код_власний_в_сегменту_32_26

Файл Просмотр Правка Построения Измерения Маршрутизация Геология Блочная модель Проектирование Планирование БВР Шейлы Картография Шхота Диспетчеризация Службные

Пользовательские Линейные Многоугольные Буровые объекты Одноточечные Двухточечные Поверхности Фигуры Размеры и выноски Заявки и сооружения Колоды Рельеф и растительность



18 дощук

	L	Воротковий вміст 7 %										Воротковий вміст 10 %										42
		4-2-апатитовий карбонат	вміст Fe ₂ O ₃	вміст Fe ₂ O ₃	Група вага	Розрахунок	Результат	у т.ч. сланці	4-2-апатитовий карбонат	вміст Fe ₂ O ₃	вміст Fe ₂ O ₃	Група вага	Розрахунок	Результат	у т.ч. сланці							
XII	S	100000	34.43	29.14	175623.28	40793.28	36.0079	172263	324120.00	36.88	29.21	175623.28	40793.28	36.0079	172263	175623.28						
XIIa	V	17008118.03	#DIV/0!	#DIV/0!	25536215.58	7530086.85	4018241.00	2720088.58	17538715.05	37.25	27.02	25536215.58	8008500.53	4018241.00	2720088.58	80711975.00						
XIIb	S	121362.33	#DIV/0!	#DIV/0!	125085.06	5425425	3532574	2030584	117655.38	37.54	25.77	125085.06	5769120	3532574	2030584	1101800.00						
XIIa-XIIb	V	9598825.06	#DIV/0!	#DIV/0!	13239714.03	4598888.48	2002038.00	2034695.20	8498547.00	37.69	27.32	13239714.03	4746195.40	2002038.00	2034695.20	8178888.80						
XIII	S	89369.31	37.58	29.58	154569.37	46707.97	29725.08	31060.44	80693.11	37.68	29.58	154569.37	46707.97	29725.08	31060.44	80693.11						
XIIIa	V	6950100.40	37.52	29.09	11782738.40	5111822.00	2088916.40	2430755.00	6561193.20	37.59	29.46	11782738.40	5201965.20	2088916.40	2430755.00	6471988.40						
XIIIb	S	7246185	37.32	28.58	13036134	8735029	3878425	3025502	702502	37.47	27.44	13036134	8634192	3878425	3025502	8028759						
XIIIa-XIIIb	V	5970238.78	37.78	27.43	10728788.41	4798570.04	2664016.78	1051036.04	5883367.88	37.85	27.84	10728788.41	4840441.58	2664016.78	1051036.04	5808480.08						
XIV	S	8108827	38.18	28.18	137288.06	85955.12	3608437	1410405	8108827	38.18	28.18	137288.06	85955.12	3608437	1410405	8108827						
XIVa	V	6208103.61	38.08	28.71	10581882.30	4265648.08	1928772.54	578686.08	6108322.05	38.28	28.46	10581882.30	4405476.05	1928772.54	578686.08	6108174.48						
XIVb	S	8036662	31.87	23.18	155303.97	453533	5108052	243831	757895	32.08	24.67	155303.97	453533	5108052	243831	757895						
XIVa-XIVb	V	12446030.46	34.04	24.32	20582713.08	8116878.08	7584118.05	3011880.5	12040340.40	33.69	25.14	20582713.08	8513372.08	7584118.05	3011880.5	11233308.03						
XV	S	8040535	38.20	25.44	13032138	4850002	4000810	222831	7970141	35.30	25.58	13032138	4850002	4000810	222831	7421321						
XVa	V	10510300.40	38.25	27.33	16117188.00	6001880.20	4999781.60	4054280	1038132.00	37.84	27.47	16117188.00	5718090.00	4999781.60	4054280	8934383.80						
XVb	S	8475978	40.00	28.84	180768.48	4185855	3573543	489546	3030389	40.00	28.88	180768.48	4170789	3573543	489546	3120502						
XVa-XVb	V	10590294.42	38.24	28.83	21024341.41	7065878.08	6202094.37	888770.12	1388467.98	38.24	29.00	21024341.41	7839343.05	6202094.37	888770.12	13882418.08						
XVI	S	8770250	38.42	28.81	142705.51	5508301	4638058	669546	8770244	38.42	28.81	142705.51	5508301	4638058	669546	8071070						
XVIa	V	4518032.25	39.29	28.00	7154888.50	2478738.25	2148171.25	204398.25	4518032.25	39.29	28.00	7154888.50	2468180.25	2148171.25	204398.25	4488388.25						
XVIa-XVIb	S	8258479	40.00	27.14	14802138	5288544	454527	483759	8258479	40.00	27.14	14802138	5518414	454527	483759	8258479						
XVIb	V	6147486.40	38.96	28.38	8160811.19	3019372.19	2316191.80	428285.98	6147486.40	38.96	28.38	8160811.19	3018280.48	2316191.80	428285.98	6132394.38						
XVII	S	8429897	37.88	28.40	181727.72	5745075	4858882	1108905	8429897	37.88	28.40	181727.72	5745075	4858882	1108905	8388882						
XVIIa	V	4700590.75	38.28	28.89	7887002.75	3087483.00	2312084.00	607480.00	4700590.75	38.28	28.89	7887002.75	3087483.00	2312084.00	607480.00	4744818.25						
XVIIb	S	9693752	38.58	28.50	18294479	6040777	484447	132151	9693752	38.58	28.50	18294479	6040777	484447	132151	9595167						
XVIIc	V	5471318.05	37.38	28.82	6915724.00	3442400.5	2623344.00	668717.05	5471318.05	37.38	28.87	6915724.00	344091.05	2623344.00	668717.05	5398004.16						
XVIII	S	824300	38.28	28.85	151160.85	487385	485489	156839	824300	37.38	28.75	151160.85	485485	485489	156839	824300						
XVIIIa	V	70889520	37.58	28.00	12014024.80	4802509.00	3541264.80	624028.00	70889520	38.28	28.10	12014024.80	4800090.00	3541264.80	624028.00	6991227.20						

Головна [X] [Y] [Z] Масштаб 1:2398 Объект 82281 Выделенных 0

Рис. 3. Зведена таблиця підрахунку запасів по варіантах кондицій [4]

Fig. 3. Summary table of reserves calculation by the variants of conditions [4]

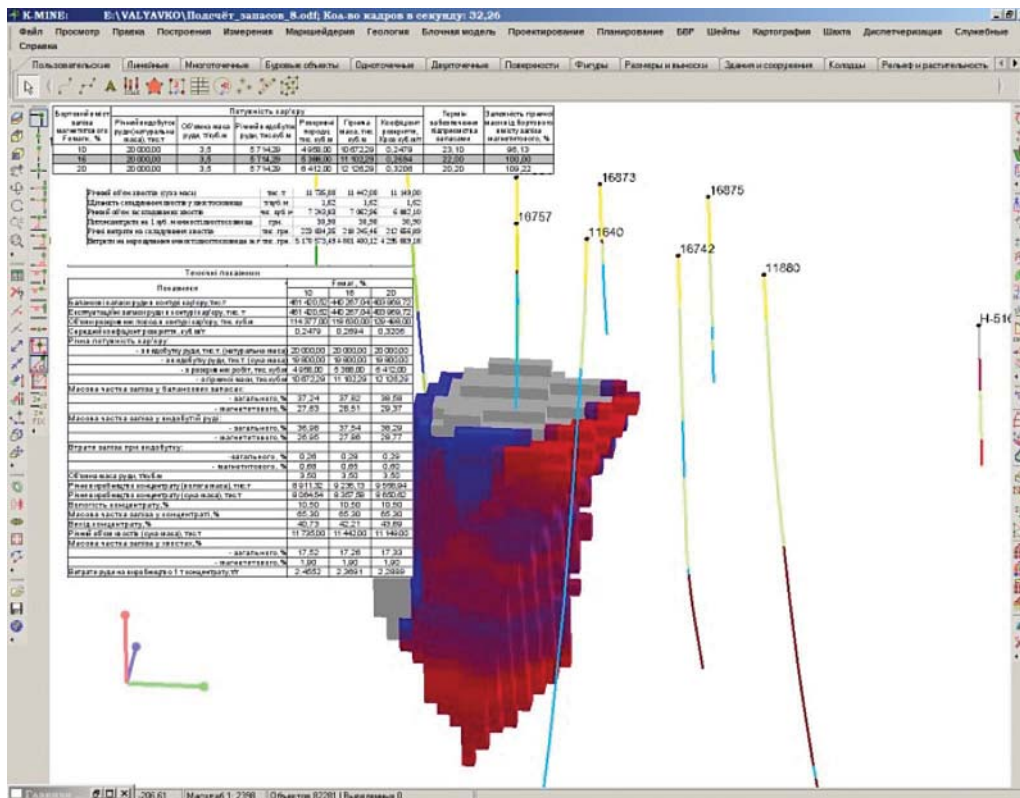


Рис. 4. Таблиці визначених періодичних показників ТЕО кондицій [4]

Fig. 4. Tables with the determined cyclical indicators of feasibility study of conditions [4]

Для кожного типу мінеральної сировини відповідно до чинних вимог щодо проведення техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) кондицій розроблено індивідуальні алгоритми розрахунку основних показників. Єдиною базою для всіх типів мінеральної сировини є послідовність заповнення інформацією про поточний стан виробництва та обчислення проміжних показників ТЕО кондицій (рис. 4).

Програмна реалізація цього етапу дає змогу користувачеві обрати «оптимальний» метод розрахунків, редагувати розрахункові формули, автоматично перераховувати всі таблиці за зміни формул, налаштовувати зовнішній вигляд таблиці [4].

Заключною стадією етапу обґрунтування кондицій є обчислення економічних показників експлуатації родовища (чистий дисконтований грошовий потік, індекс прибутковості, коефіцієнт рентабельності гірничого підприємства тощо) з формуванням зведеної таблиці техніко-економічних показників за варіантами підрахунку (рис. 5) [2].

За наявності чинних кондицій на мінеральну сировину етап їх розробки може бути пропущений і можливий безпосередній перехід до етапів підрахунку запасів і ГЕО родовища.

Підрахунок запасів за обраним варіантом кондицій в цілому повторює вищеприписані етапи. Основною його відмінністю є детальніший поділ розрахункових одиниць і необхідність їх класифікації згідно зі ступенем геологічної вивченості. На стадії

визначення вартості родовища алгоритми, застосовані для ТЕО кондицій, можуть бути використані з уточненими за даними підрахунку запасів проміжними параметрами. При цьому можливе використання як «автоматичного», так і «ручного» режиму роботи відповідно до потреб та особливостей конкретного оцінюваного об'єкта.

Особливості комп'ютерного моделювання і оцінювання запасів родовищ твердих корисних копалин з використанням шаблона CRIRSCO. Головний документ, що визначає оцінку стану мінерально-сировинних активів гірничого підприємства у разі його виходу на IPO (Initial Public Offering — первинна публічна пропозиція), котирування акцій, отримання банківських кредитів, — це звіт про мінеральні ресурси і запаси, які є власністю гірничодобувних компаній. У світовій практиці такі звіти зазвичай формують з урахуванням положень того або іншого національного (регіонального) кодексу, що відповідає шаблону сімейства CRIRSCO (Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards) [4].

Шаблон CRIRSCO — один із найпоширеніших як міжнародний стандарт публічної звітності про результати геологорозвідувальних робіт запасів/ресурсів твердих корисних копалин і декларацій про активи, що включені до переліку документів і необхідні для процедури лістингу на фондових ринках [9, 10].

Основні етапи їх створення для оцінювання запасів згідно з класифікацією CRIRSCO розглянуто у джерелах [3, 7].

Система K-MINE підтримує структурування і накопичення вихідних геологічних даних із застосуванням реляційних баз даних. Їх використання забезпечує організацію багатокористувачького режиму роботи і введення інформації декількома операторами.

Технологія оцінювання запасів мінеральної сировини для різних систем класифікації передбачає оконтурення покладів за заданими параметрами кондицій на планах або розрізах з подальшим створенням твердотільних моделей рудних тіл та/або родовищ. Тіла корисної копалини та зони мінералізації найчастіше обмежують замкненими каркасами. Оконтурюють (визначають межі поширення корисної копалини) автоматизовано на основі алгоритмів геометричного моделювання [1, 6]. Ухвалює рішення про залучення частини простору і включення її до складу тіла корисної копалини компетентна особа (експерт).

Процес формування моделей підрахунку запасів згідно з шаблоном CRIRSCO має декілька стадій, а саме каркасне моделювання, варіографія та блокове

Fig. 5. Summary table of technical and economic indices of field exploitation [4]

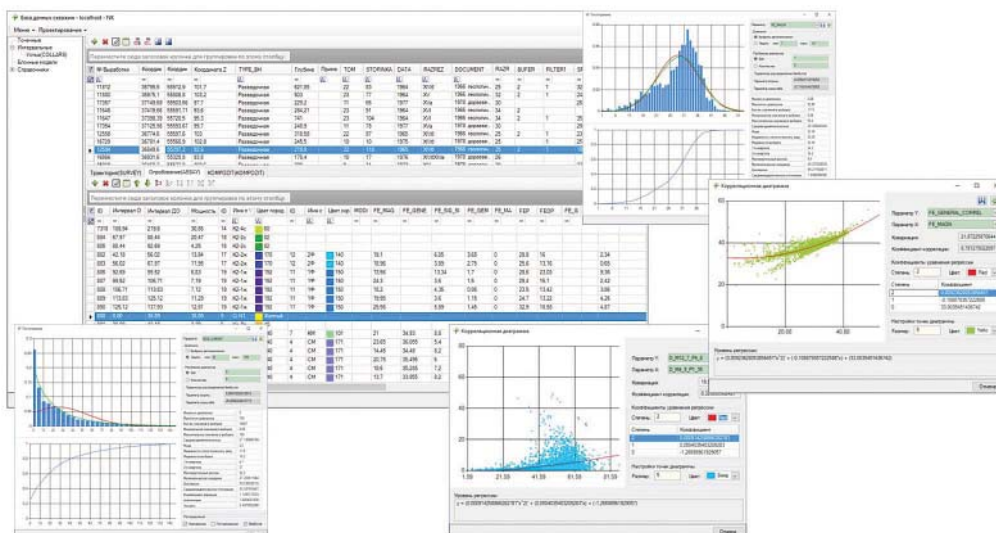


Рис. 6. Організація вихідних геологічних даних у вигляді реляційної бази даних, статистичний аналіз у K-MINE

Fig. 6. Organization of initial geological data in the form of relational DB, statistical analysis in K-MINE

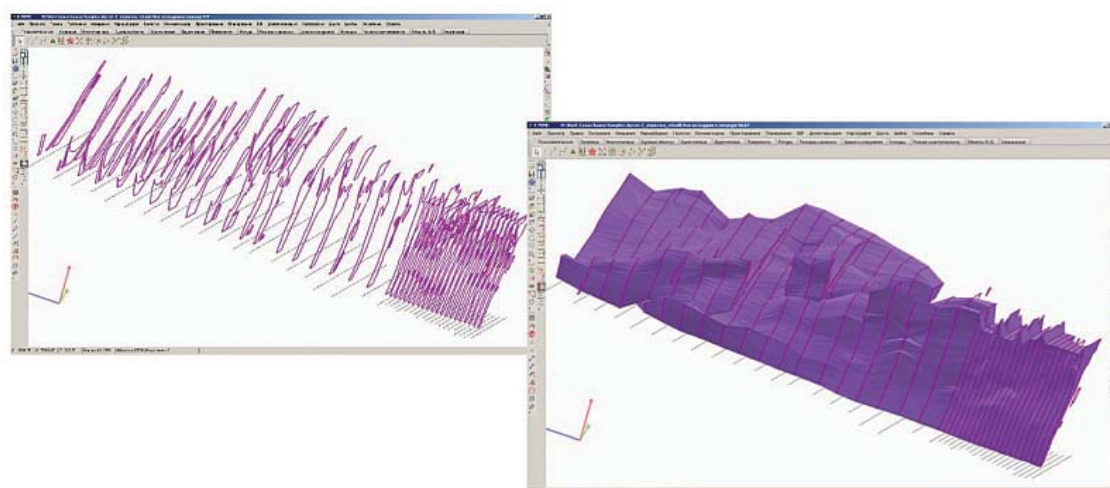


Рис. 7. Створення каркасних моделей рудних покладів у ГІС K-MINE

Fig. 7. Creation of ore deposit wire-frame models in K-MINE GIS

модельовання. Після цього запаси підраховують і класифікують.

Каркасне моделювання здійснюють на базі підготовлених контурів. Цей процес полягає у створенні замкнених каркасних об'єктів між суміжними профілями. Він автоматизований і дає змогу враховувати різні випадки об'єднання контурів між собою (моделювання за напрямними, розгалуження та сходження, виклинювання на лінію і точку та ін.). У результаті операцій створюють замкнений каркас (рис. 7). Створювані каркаси перевіряє і завіряє компетентна особа.

У разі виявлення просторової змінюваності геологічних характеристик у покладах корисної

копалини при моделюванні родовищ доцільно виконувати геостатистичні дослідження, основою яких є варіограмний аналіз. Його сутність полягає у виявленні параметрів змінюваності характеристик об'єктів залежно від відстані між ними.

Процес розрахунку і вибору варіограми є багатоскладовим, його виконують у декілька етапів: підготування і групування вихідних даних; визначення експериментальної варіограми; вивчення отриманих функцій і підбір теоретичної варіограми; створення просторової моделі [5, 7]. Власне процес вибору варіограми є однією із головних і відповідальних ланок при комп'ютерному моделюванні для оцінювання запасів згідно з шаблоном CRIRSCO (рис. 8).

Головна мета комп'ютерного моделювання — розрахунок якісних показників корисної копалини у будь-якій точці простору на основі виявлених законів просторової змінюваності характеристик. Цього досягають, використовуючи різні види інтерполяції (екстраполяції) із занесенням результатів розрахунку у точку простору, обмежену елементарною геометричною фігурою (блоком). Розраховане значення характеризує весь об'єм елементарного блока.

Застосування блокових моделей — найдодільніший засіб опису просторових об'ємів родовищ твердих корисних копалин [3, 5]. У сучасних комп'ютерних системах, у тому числі K-MINE, використовують механізм субблокування. Вміст корисного компонента у блокових моделях розраховує

будь-який інтерполятор: методом найближчої проби, методом зворотних відстаней у ступені (Inverse Distance Weight — IDW), методом сіток, автокореляційних і радіальних базисних функцій, методами крайінгу (звичайного, логарифмічно нормального, ординарного, індикативного та полііндикативного) та ін. (рис. 9).

Розрахунок класів та категорій запасів і ресурсів виконують одночасно з інтерполяцією вмісту. При цьому код класу залежить від розмірного коефіцієнта еліпсоїда пошуку, який визначають на етапі варіограмного аналізу, а також від кількості проб, що включені в еліпсоїд та/або його сектор (рис. 10).

Шаблоном CRIRSCO визначено дефініції таких ключових категорій, як мінеральні ресурси і

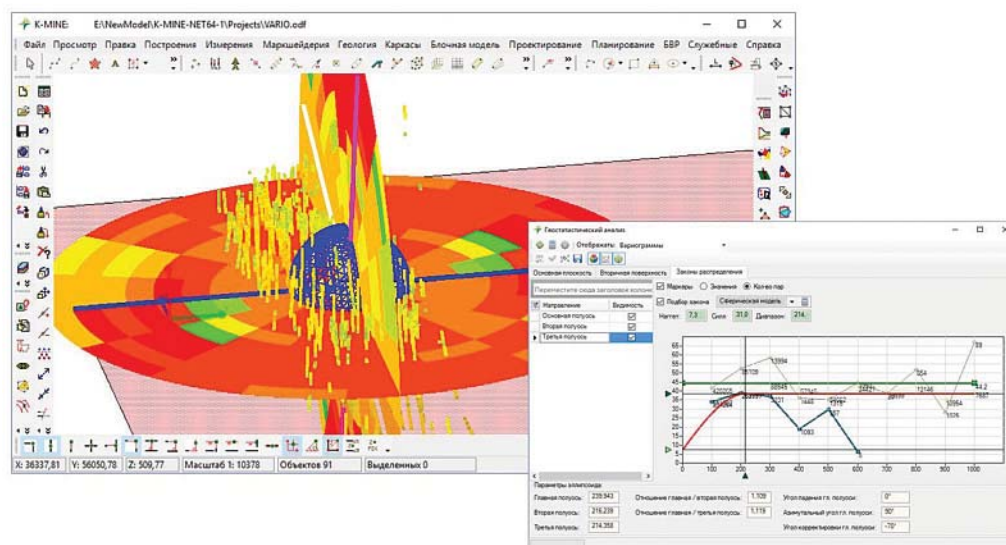


Рис. 8. Процес варіограмного аналізу в середовищі ГІС K-MINE

Fig. 8. Process of variogram analysis in the K-MINE GIS medium

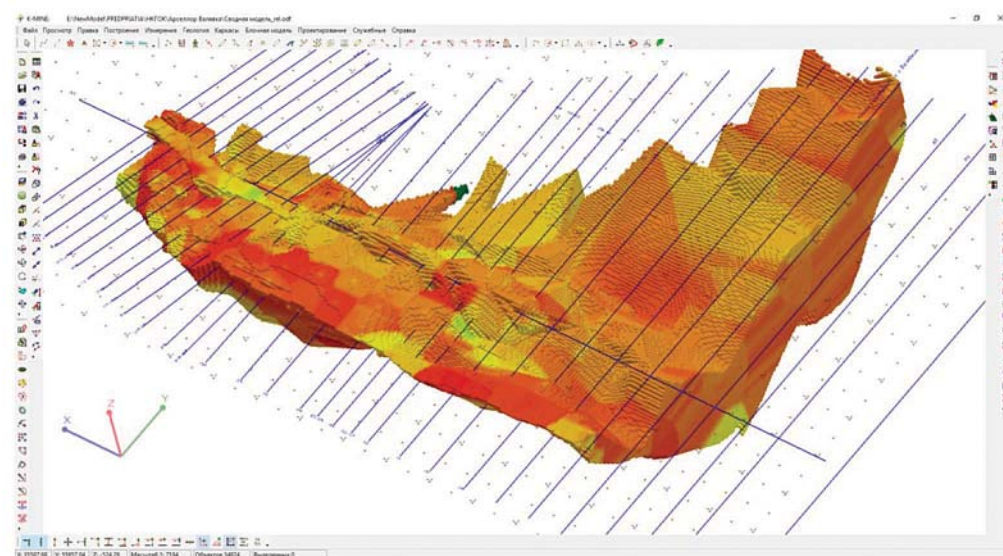


Рис. 9. Розрахунок вмісту корисного компонента у покладі методом ординарного крайінгу

Fig. 9. Calculation of the content of valuable component in the deposit by the ordinary kriging method

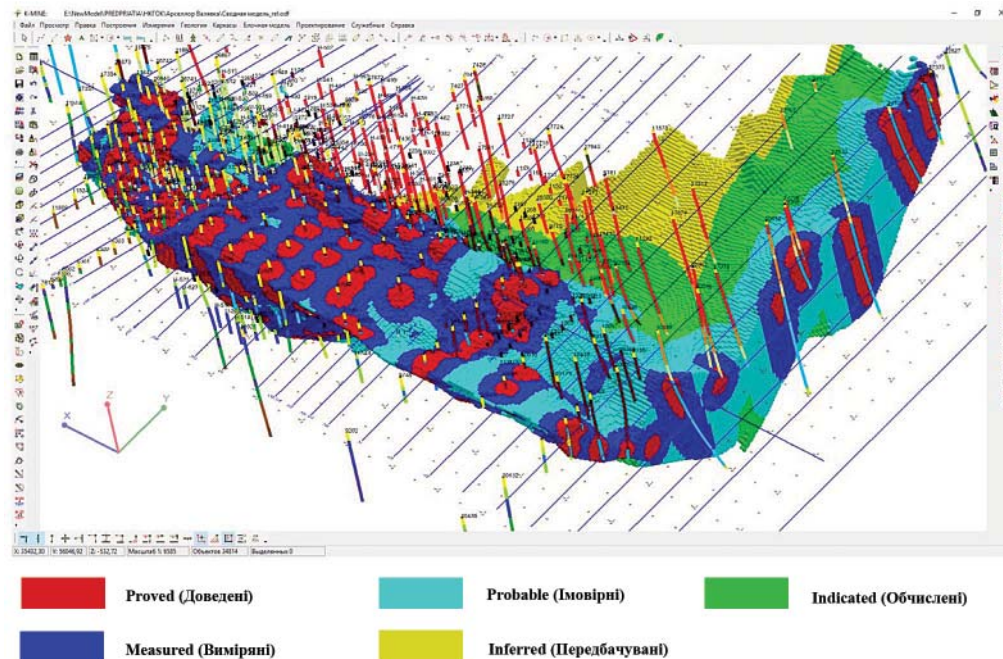


Рис. 10. Розрахунки класів ресурсів блочної моделі

Fig. 10. Calculations of resources classes of the block model

запаси (резерви), а також їх підкатегорії: виміряні (Measured), обчислені (Indicated) та передбачувані (Inferred) ресурси, доведені (Proved) та ймовірні (Probable) запаси (резерви).

Остаточний підрахунок запасів і ресурсів для родовища згідно з шаблоном CRIRSCO полягає у перетинанні множини блоків визначених класів ресурсів і множини блоків з розрахунком вмісту корисного компонента і з рознесенням їх за класами. Урахування чинників видозмін дає змогу переводити розраховані класи ресурсів у запаси та навпаки.

Висновки. Модуль геолого-економічного оцінювання ГІС K-MINE є універсальним інструментом, що дає змогу виконати весь цикл робіт з обґрунтування параметрів кондицій на мінеральну сировину, підрахувати запаси корисної копалини і розрахувати економічні показники розробки родовища. За допомогою модуля як складової частини ГІС K-MINE разом з комплексом геолого-маркшейдерського забезпечення можна виконати весь цикл робіт починаючи від приведення всієї документації до цифрової форми і створення цифрових моделей до геолого-економічного оцінювання родовища з оформленням результатів робіт і підготовкою звітної документації. У разі застосування «традиційних» методів підрахунку якісно-кількісних показників з використанням ГІС K-MINE та її автоматизованого модуля досягають високої точності та збіжності результатів. Це зумовлено застосуванням аналітичних методів розрахунку основних геометричних показників розрахункових одиниць (площа, відстань) і мінімізацією помилок, пов'язаних з ручною обробкою інформації [8].

Список бібліографічних посилань

1. Бабина Т.О., Жидков С.Н., Кушнарєв П.І., Маркова Н.С. Об использовании компьютерного моделирования при подсчете запасов. *Недропользование — XXI век.* 2007. № 6. С. 30—33.
2. Інструкція про зміст, оформлення і порядок подання на розгляд Державної комісії України по запасах корисних копалин матеріалів геолого-економічних оцінок родовищ металічних і неметалічних корисних копалин: затверджена наказом Державної комісії України по запасах корисних копалин від 04.09.1995 № 35 та зареєстрована в Міністерстві юстиції України 01.11.1995 N 394/930/ Державна комісія України по запасах корисних копалин. Київ, 1995.
3. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. СПб.: Недра, 2002. 424 с.
4. Рудько Г.І., Нецький О.В., Назаренко М.В., Хоменко С.А. Національні та міжнародні системи класифікації запасів і ресурсів корисних копалин: стан та перспективи гармонізації: монографія. Київ; Чернівці: Букрек, 2012. 240 с.
5. Рудько Г.І., Назаренко М.В., Хоменко С.А., Нецький О.В., Федорова І.А. Геоінформаційні технології в надрокористуванні (на прикладі ГІС K-MINE). Київ: Академпрес, 2011. 336 с.
6. Ушаков І.Н. Горная геометрия: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Недра, 1979. 440 с.
7. Journel A.G. Geostatistical simulation: methods for exploration and mine planning. *Engineering and Mining Journal.* 1979. December, P. 86—91.
8. <http://kai.com.ua/svit-gis-2012/geologo-eqonomicheskaja-ocenka-mestorozhdenii-s-ispolzovaniem-gis-k-mine>
9. http://www.crirco.com/guidelines_consultation_draft20100312.pdf.
10. http://www.crirco.com/news_items/naen_code.pdf.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (НА ПРИМЕРЕ ГИС K-MINE)

Г.И. Рудько¹, А.В. Нецький¹, М.В. Назаренко²

¹Государственная комиссия Украины по запасам полезных ископаемых (Украина), office@dkz.gov.ua

²ООО «Научно-производственное предприятие КАИ» (Украина), mail@kai.ua

Рассмотрены вопросы применения геоинформационной системы K-MINE при построении автоматизированных информационно-аналитических систем для управления работой объектов недропользования. Описан модуль геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых геоинформационной системы K-MINE, разработанной сотрудниками ООО «Научно-производственное предприятие «КАИ» (г. Кривой Рог). Модуль является универсальным инструментом, дает возможность обобщить результаты обоснования параметров кондиций на минеральное сырье, провести подсчет запасов полезного ископаемого, рассчитать экономические показатели отработки месторождения. Применение модуля как составной части ГИС K-MINE вместе с комплексом геолого-маркшейдерского обеспечения позволяет выполнять работы по созданию цифровых моделей месторождений полезных ископаемых, их геолого-экономической оценке, оформлению результатов работ и подготовке отчетной документации.

Ключевые слова: ГИС K-MINE, геоинформационная система, месторождение полезных ископаемых, геолого-экономическая оценка, блочное моделирование, шаблон CRIRSCO.

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN ECONOMIC-GEOLOGICAL EVALUATION OF MINERAL DEPOSITS (BY THE EXAMPLE OF K-MINE GIS)

G.I. Rudko¹, O.V. Netskyi¹, M.V. Nazarenko²

¹The State Commission of Ukraine on Mineral Resources, 18/7 Kutuzova Street, Kyiv, 01133, Ukraine, e-mail: office@dkz.gov.ua

²The Research and Production Enterprise «KRYVBASAKADEMINVEST», POB 2401, Kryvyi Rih 50027, Dnipropetrovsk Region, Ukraine, e-mail: mail@kai.ua

Purpose and objectives. Since 2009 the State Commission of Ukraine on Mineral Resources (SCMR) together with the Research and Production Enterprise «KRYVBASAKADEMINVEST» LTD (the city of Kryvyi Rih) performed works on the development of algorithms for calculation of reserves and resources of different types of minerals for the purpose of their transfer from one classification system to another. On the way to harmonization of reserves in different classification systems there is a method based on the use of three-dimensional digital models and special software with further comparison of the obtained results when calculating reserves and resources of mineral deposits in different classification systems. K-MINE GIS is a basic tool used in work.

The basic principles realized in the K-MINE GIS module — Mineral Reserves Economic-Geological Evaluation Automated System (K-MINE EGE AS), which uses approaches generally accepted in the world as regards interpretation of data on prospecting, delineation of ore bodies and mineralization zones, wireframe modeling of a field and surfaces, variography, interpolation of spatial values with the use of geostatistical methods, block modeling, reserves evaluation, have been developed. The majority of operations on interpretation, delineation and wireframe modeling are automatically performed.

Method. Economic-geological evaluation of fields with the use of basic capabilities of the geological mine survey support complex, and also K-MINE EGE AS has been carried out by means of the K-MINE geoinformation integrated system. The module for economic-geological evaluation of mineral deposits is intended for performance of analytical and graphic works connected with the economic-geological evaluation of mineral deposits.

Results. So, when carrying out economic-geological evaluation with the use of K-MINE EGE AS it is possible to use both standard («traditional») methods for reserves calculation (cuts methods, geological blocks, etc.), and modern spatial methods based on geostatistical methods with the use of wireframe and block models.

When drawing up the report on reserves calculation according to the CRIRSCO classification the computer models shall be used. It has been demonstrated that K-MINE GIS meets the requirements for computer systems according to the CRIRSCO template.

Practical importance and conclusions. So, the K-MINE GIS economic-geological evaluation module is a universal tool enabling to perform a whole cycle of works on justification of parameters of conditions for mineral raw material, estimation of mineral reserves and calculation of economic indices of field development. Operation of the module as a component part of K-MINE GIS together with the geological mine survey support complex enables to perform a whole cycle of works starting from bringing of all documentation into a digital form and creation of digital models to economic-geological evaluation of a field with the registration of outputs and preparation of reporting documentation. When using «traditional» methods for calculation of qualitative and quantitative indices with the use of K-MINE GIS and its automated module it is possible to reach high accuracy and repeatability of results. It is caused by the

use of analytical methods for calculation of main geometrical indices of the units of measure (area, distance) and minimization of errors connected with manual information processing.

Keywords: K-MINE GIS, geoinformation system, mineral deposit, economic-geological evaluation, block modeling, CRIRSCO template.

References

1. Babina T.O., Zhidkov S.N., Kushnarev P.I., Markova N.S. (2007). Ob ispolzovanii kompyuternogo modelirovaniya pri podschete zapasov [The use of computer simulation for calculation of reserves]. *Nedropolzovaniye — XXI vek*. 2007. P. 30—33 (in Russian).
2. Instruktsiia pro zmist, oformlennia i poriadok podannia na rozghliad Derzhavnoi komisii Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn materialiv heoloho-ekonomichnykh otsinok rodovyschch metalichnykh i nemetalichnykh korysnykh kopalyn: zatverdzhena nakazom Derzhavnoi komisii Ukrainy po zapasakh korysnykh kopalyn vid 04.09.1995 № 35 ta zareiestrovana v Ministerstvi yustytzii Ukrainy 01.11.1995 N 394/930/ [Instruction on the content, design and procedure for submission to the State Commission of Ukraine for mineral deposits of materials for geological and economic assessments of deposits of metallic and non-metallic minerals: approved by order of the State Commission of Ukraine for Mineral Resources of 04.09.1995 N 35 and registered with the Ministry Justice of Ukraine of 11.11.1995 N 394/930/]. Kyiv, 1995 (in Ukrainian).
3. Kaputin Yu.E. Gornyye kompyuternyye tekhnologii i geostatistika [Mining computer technologies and geostatistics]. Sanct Peterburg: Nedra, 2002 (in Russian).
4. Rudko H.I. Natsionalni ta mizhnarodni systemy klasyfikatsii zapasiv i resursiv korysnykh kopalyn: stan ta perspektyvy harmonizatsii: monohrafiia [National and international systems of classification of reserves and resources of minerals: state and prospects of harmonization: monograph]. Kiev; Chernivtsi: Bukrek, 2012 (in Ukrainian).
5. Rudko H.I. Heoinformatsiini tekhnolohii v nadrokorystuvanni (na prykladi HIS K-MINE) [GIS technologies in mineral resources (GIS K-MINE for example)]. Kyiv: Akadempres, 2011 (in Ukrainian).
6. Ushakov I.N. Gornaya geometriya: uchebnyk dlya vuzov [Mining Geometry: A Textbook for Universities]. Moscow: Nedra, 1979 (in Russian).
7. Journel A.G. Geostatistical simulation: methods for exploration and mine planning. *Engineering and Mining Journal*. 1979. December. P. 86—91.
8. <http://kai.com.ua/svit-gis-2012/geologo-ekonomicheskaya-ocenka-mestorozhdenii-s-ispolzovaniem-gis-k-mine>
9. http://www.criirco.com/guidelines_consultation_draft20100312.pdf.
10. http://www.criirco.com/news_items/naen_code.pdf.