

ОСИПОВ В.Л. (ООО «Майкромайн РУС», Хабаровск, Россия)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУДНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ В ПРОГРАММЕ MICROMINE

В отечественной практике подсчета запасов рудных месторождений, в том числе на стадии технико-экономического обоснования кондиций рассчитываются рудные интервалы (компози́ты) с учетом условий кондиций.

К условиям кондиций относятся: бортовое содержание полезного компонента; минимальная мощность рудного тела; максимально допустимая мощность прослоев пустых пород или некондиционных руд, включаемых в контур рудного тела; минимальный метропроцент (метрограмм), рассчитываемый как произведение бортового содержания на минимальную мощность рудного тела.

В последнее время в практике подсчета запасов месторождений полезных ископаемых стали появляться варианты автоматизации данного процесса в специализированных программах по обработке геолого-маркшейдерской информации.

Основным предметом для создания автоматизации процесса создания рудных интервалов в программе Micromine и темой настоящей статьи является определение границ рудного тела в направлении мощности с использованием параметров технико-экономических кондиций. Рассматриваемая ситуация возникает в случаях отсутствия внешних геологических границ и характерна для рудных тел различной морфологии: оруденелые дайки, минерализованные зоны, штокверки, скарны, рудные столбы и др.

Ранее, до изучения настоящей проблемы, в программе «Micromine» были реализованы расчеты компози́тов для следующих сценариев: вдоль скважин, по уступам, по интервалам, по геологии, по содержанию.

Разработчиками программы, начиная с версии 16 решено алгоритм расчета рудных интервалов по кондициям реализовать самостоятельным методом в отдельной вкладке меню «Скважины/Расчет компози́тов/По содержанию (ГКЗ)». К основным разновидностям (параметрам) алгоритма построения рудных интервалов относятся: Смягченные правила и Строгие правила. Приведены общие положения при рассмотрении рядовых рудных интервалов, сходство и отличия в работе основных разновидностей (параметров) алгоритма.

Формально для расчета рудных интервалов согласно кондициям нужно применять тот алгоритм, который максимально полно учитывает все условия. В программе «Micromine» таким алгоритмом является применение Строгих правил с включенной опцией «Запретить смежные рудные интервалы». На практике возникает многовариантность «увязки» и оконтуривания рудных тел по выделяемым рудным интервалам. В статье приведено несколько формализованных примеров, объясняющих правомерность применения того или иного способа выделения рудных интервалов.

Автоматизация процесса расчета рудных интервалов приводит к значительному увеличению скорости обработки данных. Описанные алгоритмы позволяют за очень короткие отрезки времени и при условии подготовленных и выверенных данных рассчитать и статистически обработать многочисленные варианты получения рудных интервалов на основе вводимых переменных данных кондиций: Сб, Мп, Мр, МС.

Ключевые слова: границы рудного тела, рудный интервал, рядовая проба, компози́ты, параметры кондиций, экспертиза и подсчет запасов

В отечественной практике подсчета запасов рудных месторождений предметом исследования обычно является рудное тело.

Под рудным телом, как правило, понимают:

- геологическое образование, в пределах которого развита рудная минерализация;
- геологическое образование, отвечающее по содержанию ценных

компонентов, мощности и другим показателям установленным кондициям.

В первом случае рудное тело характеризуется больше геолого-минералогическими, структурными и морфологическими особенностями границ. Во втором – границы рудного тела в направлении мощности, по простиранию и по падению определяются с помощью кондиций, обоснованных технико-экономическими расчетами.

Рудный интервал (композит) – это интервал по линии геологического опробования, состоящий из элементарных рядовых проб и удовлетворяющий определенным условиям выделения.

Основным предметом для автоматизации процесса создания рудных интервалов является определение границ рудного тела в направлении мощности с использованием параметров технико-экономических кондиций. Ранее, до изучения настоящей проблемы, в программе Micromine были реализованы следующие варианты расчета композитов (рудных интервалов):

- вдоль скважин – создание регулярных (одинаковой длины) интервалов по линиям опробования горных выработок;

- по уступам – создание регулярных интервалов, соответствующих границам уступов, где интервалы «от» и «до» соответствуют кровле и подошве уступа;

- по интервалам – создание рудных интервалов на основе двух интервальных файлов, например, 2 файла опробования или 1 файл опробования и 1 файл геологии;

- по геологии – создание рудных интервалов по соответствующим разновидностям пород и руд, например, в границах жил, оруденелых даек, минерализованных зон;

- по содержанию – создание рудных интервалов на основе вводимых переменных условий и ограничений;

- по содержанию (расширенный) – начало внедрения с версии 15 алгоритма расчета рудных интервалов по кондициям на основе имеющихся инструментов.

Рассматриваемая авторами ситуация возникает в случае отсутствия внешних геологических границ и характерна для рудных тел различной морфологии: оруденелые дайки, минерализованные зоны, штокверки, скарны, рудные столбы и др.

Для всех этих рудных тел характерно прерывистое распределение содержаний полезного компонента в направлении мощности, а их границы определяются только по результатам рядового опробования.

Для расчета и выделения рудных интервалов на стадии подсчета запасов обычно применяются следующие параметры кондиций:

- бортовое содержание полезного компонента C_b ;

- минимальная мощность рудного тела M_p ;

- максимально допустимая мощность прослоев пустых пород или некондиционных руд, включаемых в контур рудного тела, M_p ;

- минимальный метропроцент (метрограмм) MC , рассчитываемый как произведение ($C_b \cdot M_p$); применяется в случаях, когда рудный интервал меньшей длины, чем оговорено кондициями, но он характеризуется высоким содержанием полезного компонента;

- минимальное содержание в краевой выработке, применяется достаточно редко, обычно в случаях оконтуривания рудных тел с четкими геологическими границами и закономерным снижением содержания полезных компонентов к краевым частям.

Большинство недропользователей до недавнего времени для процедуры выделения рудных интервалов с помощью кондиций использовали калькулятор, в лучшем случае электронные таблицы Excel. В последнее время стали появляться варианты автоматизации данного процесса в специализированных программах по обработке геолого-маркшейдерской информации.

Несмотря на то что на стадии экспертизы технико-экономического обоснования (ТЭО) кондиций и отчетов с подсче-

том запасов, как правило, происходит проверка корректности выделения рудных интервалов, как таковой, детально описанной процедуры, в соответствующих методических руководствах не обнаружено. При создании алгоритма разработчики проводили консультации с экспертами ГКЗ, использовали данные [2–4], а также опыт автора статьи в подсчете запасов рудных месторождений. Описание операции формирования рудного интервала при подсчете запасов уранового месторождения приведено в работе [5]:

«Если оруденение характеризуется неравномерным распределением металла, без четко выраженной тенденции к снижению концентрации к краям и представлено участками с содержанием выше бортового, разделенными безрудными и некондиционными интервалами небольшой мощности (меньше установленной предельной), оконтуривание выполняется так, чтобы каждый включаемый в контур элементарный рудный участок в сумме с отделяющим его безрудным промежутком имел среднее содержание не ниже установленного бортового».

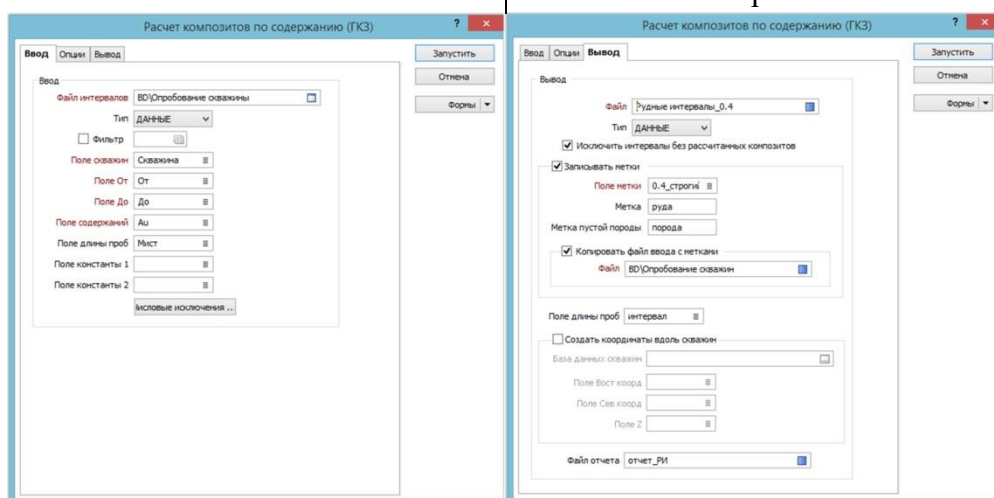


Рис. 1. Оформление вкладок Ввод/Вывод в меню Скважины /Расчет композитов /По содержанию (ГКЗ) в программе «Micromine»

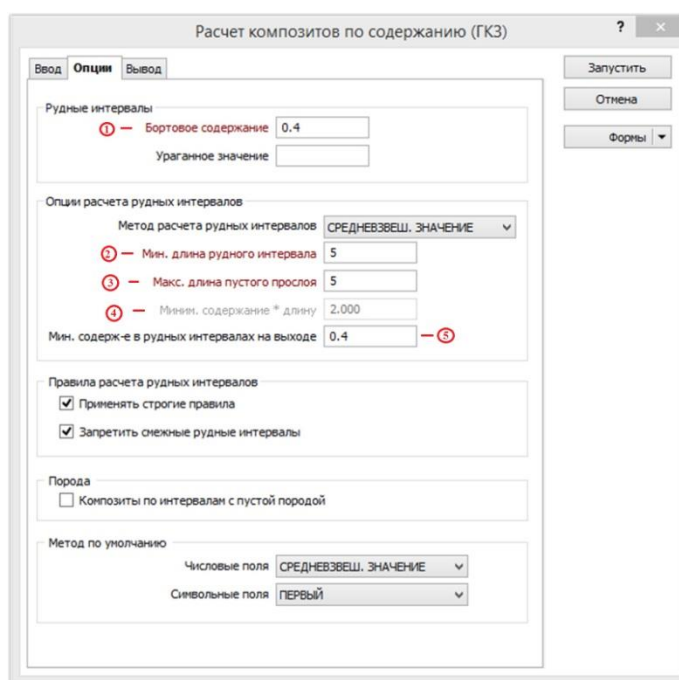


Рис. 2. Оформление кондиционных показателей во вкладке «Опции»

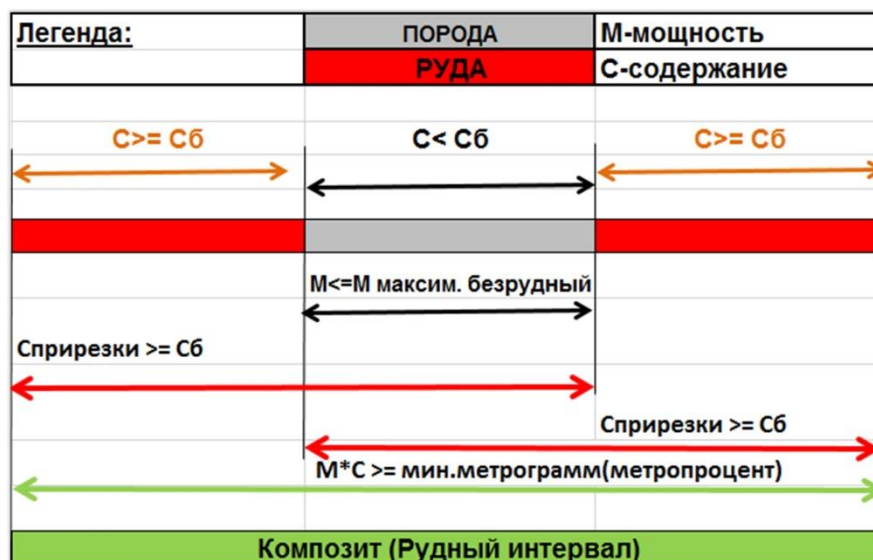


Рис. 3. Схема формирования рудных интервалов на основе данных рядового опробования

Разработчиками программы, начиная с версии 16, решено алгоритм расчета рудных интервалов по кондициям реализовать самостоятельным методом в отдельной вкладке меню «Скважины/Расчет композитов/По содержанию (ГКЗ)». При расчете рудных интервалов во вкладке данного меню «Ввод» вводят файл интервалов опробования по горной выработке, во вкладке «Вывод» записывают название файла вывода с рассчитанными параметрами рудных интервалов и файл опробования (копию) с метками для отдельных проб (рис. 1). При активации вкладки «Опции» можно заполнить пять параметров кондиций, соответствующих вышеприведенному списку. По умолчанию алгоритм работает по Смягченным правилам, можно использовать дополнительно Строгие правила (рис. 2).

Условия объединения рядовых интервалов опробования в рудный интервал представлены на рис. 3.

Для всех параметров алгоритма расчета рудных интервалов будут действовать общие положения при исследовании рядовых интервалов. Вначале каждый самостоятельный интервал (равный длине пробы) проверяют на среднее содержание. Если оно меньше бортового содержания

Сб, то данный интервал считается «породой», если выше или равно Сб, то «рудой». Если интервал в том же состоянии, что и предыдущий интервал, тогда эти интервалы считаются частью той же руды или участком пустой породы.

Если к элементарному рудному интервалу прирезается интервал с элементарными пробами порода – руда, то для вновь образуемого композита должны соблюдаться следующие условия:

- среднее содержание не меньше бортового Сб;
- суммарный метрограмм (метропроцент) не меньше минимального метрограмма (метропроцента) МС;
- содержание в «прирезке» («порода» + «руда») Спр не меньше бортового Сб;
- длина пустого прослоя в прирезаемом интервале не больше максимально допустимой мощности пустых пород Мп.

Первый этап любого метода – создать первый участок руды, игнорируя все предыдущие интервалы пустых пород, и определить переход с руды на пустую породу. Данный этап является обязательным для всех разновидностей алгоритма расчета рудных интервалов.

Легенда:		ПОРОДА	РУДА					
№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8
Сб, г/т	1.0	1.2	0.8	1.2	0.8	1.1	0.8	1.3
ШАГ:								
1	1.1							
2	1.0							
3			1.0					
4	1.1							
3					0.95			
3					1.000			
					Мп=3м			
2				0.99				
без доп.опций	Композит							

Рис. 4, а. Схема последовательности работы алгоритма при использовании варианта расчета по Смягченным правилам

Рассмотрим работу основных параметров алгоритма расчета рудных интервалов на основе кондиций.

Смягченные правила. Основные этапы работы алгоритма при применении данного параметра представлены на рис. 4, а. Использованы следующие параметры и значения кондиций: Сб = 1 г/т; Мр = 3 м; Мп = 3 м; МС = 3; с целью упрощения в расчете длина рядовых проб принята равной 1 м.

При выполнении шага 1 создается элементарный рудный интервал из двух рядовых проб № 1 и 2 с содержанием, $C_{б} \geq 1$ (см. рис. 4, а). На шаге 2 выполняется проверка среднего содержания в интервале «руда – порода» (где порода – это проба № 3), здесь выполняется условие $C_{пр} \geq C_{б}$. На шаге 3 проверяется среднее содержание в интервале «руда – порода» для второго элементарного рудного интервала пробы № 4, здесь также выполняется условие $C_{пр} \geq C_{б}$. На шаге 4 два элементарных рудных интервала выделяются в общий рудный интервал проб № 1–4 со средним содержанием полезного компонента $C = 1,1$. Для следующего элементарного рудного интервала рядовой пробы

№ 6 с содержанием 1,1 выполняется проверка в «прирезке», соответствующая шагу 3. Содержание С в интервале «руда – порода», где порода – это проба № 5, меньше Сб, поэтому шаг 3 выполняется уже для последнего рудного интервала пробы № 8 с содержанием $C = 1,3$. Проверяется содержание в «прирезке» руда – порода, где порода представлена элементарными интервалами «порода – руда – порода» (пробы № 5–7) мощностью, равной 3 м, т. е. удовлетворяются условия Мп и Сб ($C_{пр} = 1,0$). Шаг 2 теперь уже выполняется для ранее созданного рудного интервала (пробы № 1–4), проверяется содержание в прирезаемом интервале проб № 5–7 до последнего элементарного рудного интервала (проба № 8) с содержанием 1,3; $C_{пр} < C_{б}$, поэтому пробы № 1–8 в рудный интервал не объединяются и итоговый рудный интервал оказывается в пределах интервала проб № 1–4.

Строгие правила. Основные шаги работы алгоритма при использовании данного параметра изображены на рис. 4, б. Условия кондиций и длины проб аналогичны, как в примере, описанном выше.

Легенда:	ПОРОДА		РУДА					
№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8
Сб, г/т	1.5	1.5	0.8	1.2	0.9	0.9	1.5	1.5
ШАГ:								
1	1.5						1.5	
2	1.3							
3			1.0					
4	1.25							
2	1.1							
3					1.20			
4	1.23							
5			0.95					
без доп.опций	Композит		Мп=1м	Композит				
запретить смежные...	Композит		Мп=4м				Композит	

Рис. 4, б. Схема последовательности работы алгоритма при использовании варианта расчета по Строгим правилам

Шаги работы алгоритма с 1-го по 4-й соответствуют работе алгоритма при использовании параметра «Расширенный (смягченный)» без дополнительных опций. В результате после шага 4 сформирован рудный интервал, удовлетворяющий условиям работы данного параметра. На шаге 5 уже сформированный рудный интервал проверяется на наличие внутрирудных пустых прослоев, которые по мощности бы превышали условие кондиций Мп, а по среднему содержанию были бы ниже условия кондиций Сб. В данном случае интервал проб № 3–6 составляет 4 м со средним содержанием 0,95. В итоге образуются два самостоятельных рудных интервала с некоторым отличием при включенной и выключенной опции «Запретить смежные рудные интервалы». Для обоих вариантов исключено наличие пустого прослоя большей, чем Мп, мощности внутри рудных интервалов. Различие в том, что при выключенной дополнительной опции, рудные интервалы будут созданы для максимально возможной длины и максимальной суммы метро-

грамма, допуская при этом мощность пустого прослоя между композитами менее Мп. При включенной же опции рудные интервалы будут созданы для максимально возможной длины и максимального метрограмма, при этом мощность пустых прослоев между финальными композитами будет больше или равна Мп, т. е. для последнего варианта будут соблюдены все условия кондиций.

Для Строгих правил включено явное улучшение в работу алгоритма, по сравнению с версией 15. Это улучшение касается наличия сближенных сечений (расстояние между РИ меньше Мп) при применении к ним опции «Запретить смежные рудные интервалы». В таком случае раньше, как правило, один из интервалов исключался (с меньшим МС). В настоящей реализации происходит «пересборка» таких сближенных РИ таким образом, чтобы финальный вариант РИ имел наибольший МС, часто без исключения соседнего РИ.

Характерные особенности рудных интервалов, получаемые при использовании разных параметров расчета, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характерные особенности рудных интервалов, получаемые при использовании разных параметров расчета

Особенности рудных интервалов	Варианты формирования рудных интервалов			
	По содержанию (ГКЗ)			
	Смягченные правила		Строгие правила	
	Без доп. опций	«Запретить смежные рудные интервалы»	Без доп. опций	«Запретить смежные рудные интервалы»
Для элементарных рудных интервалов выполняется правило «прирезки». Нет фрагментов «руда»–«порода», где $C < Cб$ и $M > Mп$	+	+	+	+
В итоговых рудных интервалах нет фрагментов «порода»–«руда»–...–«порода», имеющих $C < Cб$ и $M > Mп$	–	–	+	+
Между итоговыми рудными интервалами нет «породных» интервалов, где $M < Mп$	–	+	–	+

Формально для расчета рудных интервалов согласно кондициям нужно применять тот алгоритм, который максимально полно учитывает все условия. В программе Micromine таким алгоритмом является применение «Строгих правил» с включенной опцией «Запретить смежные рудные интервалы». Но зачастую на практике возникает многовариантность «увязки» и оконтуривания рудных тел по выделяемым рудным интервалам, при изучении материалов технико-экономических обоснований кондиций и подсчета запасов даже в среде экспертов возникают порой неоднозначные решения на этот счет. Все это объясняется теми или иными факторами геологического строения месторождения, особенностями структур рудного поля и внутреннего строения рудных тел. По мнению автора, в некоторых, хотя и довольно редких случаях, окончательно принять и обосновать решение по выделению корректного рудного интервала может только геолог, изучающий конкретное месторождение. Если он имеет несколько вариантов расчета из предложенных, ему

всегда будет легче определиться с правильным выбором. Можно привести несколько формализованных примеров. На рис. 5, а, б видно, что в случае определения рудных интервалов при использовании разных параметров и одинаковых кондиций обосновано применение параметра для Смягченных правил, так как рудные интервалы не противоречат морфологии минерализованной зоны, в отличие от параметра для Строгих правил, который усложняет строение рудного тела, приводит к увеличению потерь и разубоживанию для будущей отработки при незначительном повышении среднего содержания в рудном теле.

На рис. 5, в, г приведен обратный пример применения различных параметров алгоритма расчета рудных интервалов при одинаковых значениях кондиций. В первом случае (в) параметр по Смягченным правилам объединяет две обособленные рудные зоны в один рудный интервал. Параметр по Строгим правилам в этом случае корректно исключает пустой прослой между рудными зонами.

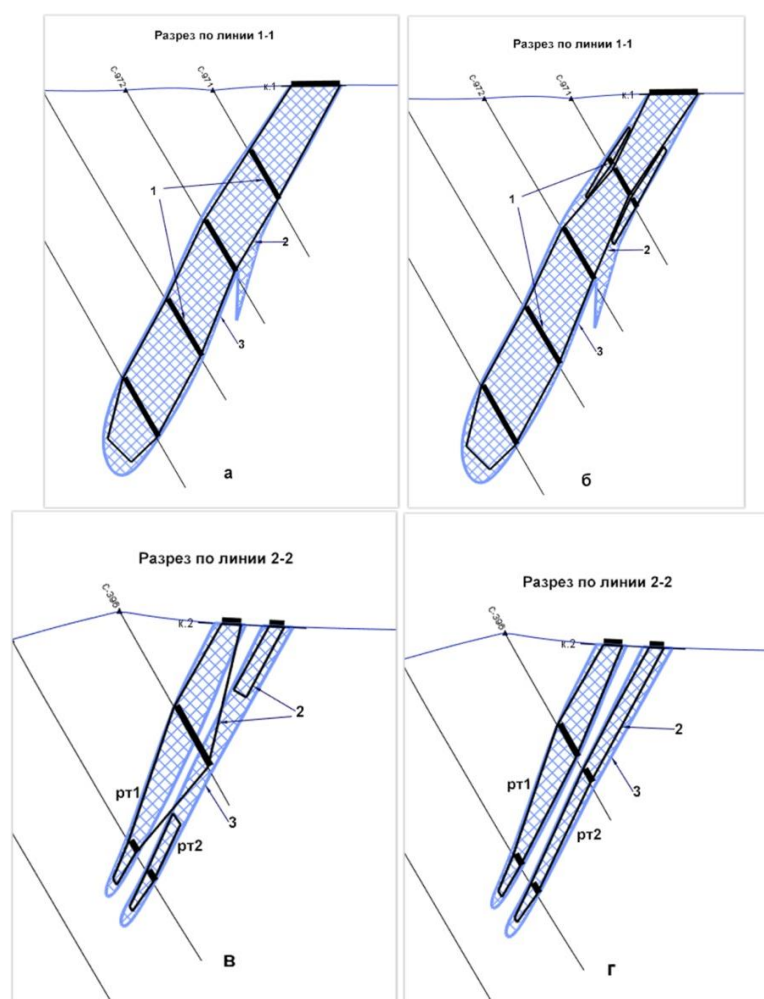


Рис. 5. Варианты применения различных параметров Смягченных правил – а, в и Строгих правил – б, г: 1 – рудные интервалы по кондициям; 2 – контуры рудного тела; 3 – границы минерализованной зоны

На рис. 6 приведен пример применения параметра Строгих правил без дополнительных опций. В данном случае основной рудный интервал имеет большую

мощность, чем при включенной опции, таким образом, оставшийся маломощный интервал переходит в разряд забалансовых руд за пределами карьера либо исключается из подсчета [6–15].

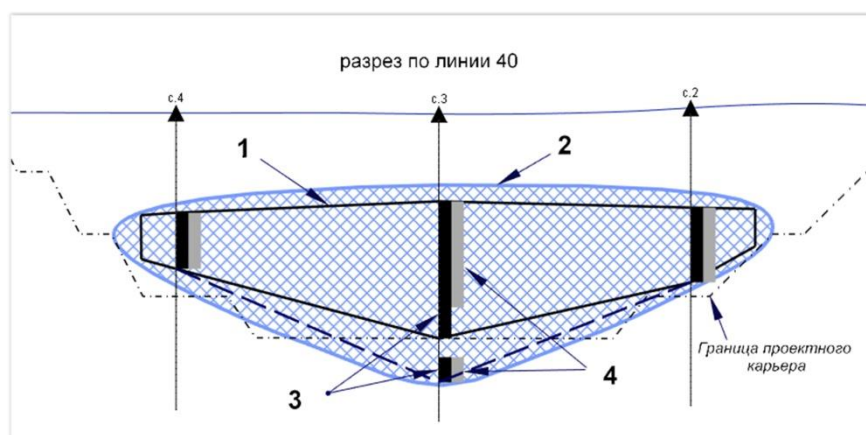


Рис. 6. Пример применения разновидностей параметра для Строгих правил: 1 – контур рудного тела; 2 – граница минерализованной зоны; 3 – параметр без дополнительных опций; 4 – параметр с опцией «Запретить смежные рудные интервалы»



В заключение следует отметить, что автоматизация процесса расчета рудных интервалов приводит к значительному увеличению скорости обработки данных. Например, на стадии технико-экономических расчетов такие показатели, как минимальная мощность рудного тела M_p и максимальная мощность пустого прослоя $M_{п}$, зачастую принимаются недропользователями по аналогии с другими месторождениями только по причине трудоемкости статистической обработки большого массива данных. При наличии подготовленных и выверенных данных описанные алгоритмы позволяют за очень короткий промежуток времени рассчитать и статистически обработать многочисленные варианты получения рудных интервалов на основе вводимых переменных данных кондиций: $C_б$, $M_{п}$, M_p , M_c .

Библиографический список

- Осипов В.Л. Определение рудных интервалов при подсчете запасов в программе Micromine // Горный журнал. – 2015. – № 4. – С. 82-87.
- Карпенко И.А., Куликов Д.А., Черемисин А.А., Голенев В.Б. К вопросу о методике выделения рудных интервалов при подсчете запасов // Маркшейдерия и недропользование. – 2009. – № 1. – С. 7–18.
- Зайков В.Г. О формировании рудных интервалов по заданным кондициям. Справка Digimine. URL: <http://dgm.ru/> (дата обращения 15.09.2013).
- Пухальский Л.Ч., Шумилин М.В. Разведка и опробование урановых месторождений. – М.: Недра, 1977. – 248 с.
- Викентьев В.А., Карпенко И.А., Шумилин М.В. Экспертиза подсчетов запасов рудных месторождений. – М.: Недра, 1988. – 199 с.
- Шумилин М.В., Викентьев В.А. Подсчет запасов урановых месторождений. – М.: Недра, 1982. – С. 59-62.
- Appleyard G.R. An Overview and Outline, in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice (Ed: A C Edwards). 2001. (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Liu L., Cao W. Computational 3D modeling on deep structure architecture and implication for ore exploration in the Tongguanshan ore field, Tongling, China (2016) Geotectonica et Metallogenia, 40 (5), pp. 928-938.
- Chen J., Tang J., Cong Y., Dong Q., Hao J. Geological characteristics and metallogenic model in the yulong porphyry copper deposit, East Tibet (2009) Acta Geologica Sinica, 83 (12), pp. 1887-1900.
- Feng X.-L., Wang L.-G., Bi L. Compartmentation cavability evaluation model of ore body (2009) Yantu Gongcheng Xuebao / Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 31 (4), pp. 584-588.
- Wang, L.-M., Chen, J.-P., Tang, J.-X. 3D positioning and quantitative prediction of Yulong porphyry copper deposit, Tibet, China based on digital mineral deposit model (2010) Geological Bulletin of China, 29 (4), pp. 565-570.
- Harcus, M. Micromine at Minexpo (2012) Mining Magazine, 204 (6), pp. 22-25.
- Li R., Wang G., Zhu Y., Qu J. Three dimensional quantitative extraction and integration for geosciences information: A case study of Nannihu Mo deposit area (2014) Proceedings of the 16th International Association for Mathematical Geosciences - Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment: Challenges, Processes and Strategies, IAMG 2014, pp. 445-447.
- Капустин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров). – СПб.: Недра, 2004. – 334 с.
- Кузнецов Ю.Н., Курцев Б.В., Стадник Д.А., Стадник Н.М. Научные основы формирования геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений. – Горная книга, 2017. – 124 с.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2018, No. 2, pp. 23-31

Title:	DETERMINATION OF ORE INTERVALS WHEN ESTIMATING RESERVES USING MICROMINE SOFTWARE
Author 1:	Name & Surname: V.L. Osipov Company: Ltd. "Micromine RUS" Address: 46, Turgenev Str., Khabarovsk, Russia, 680000



	Contacts: vosipov@micromine.com
DOI:	10.17073/2500-0632-2018-2-23-31
Abstract:	<p>In domestic practice of ore reserve estimation, including at the stage of Feasibility Study of conditions, ore intervals (composites) are determined taking into account the conditions.</p> <p>The conditions (Resource Estimation Parameters) include: cut-off grade (CoG) of a useful component; minimum thickness of ore body (minT); maximum allowable thickness of waste rock or substandard ore interlayers (maxTS), included in the ore body outline; minimum GT, calculated as the product of the cut-off grade by the minimum thickness of the ore body.</p> <p>Recently, in practice of ore reserve estimation, options for automating this process began to appear in specialized programs for processing geological and survey information.</p> <p>The main subject for developing automation for the process of creating ore intervals in the Micromine software and the topic of this paper is determining an ore body boundaries in the direction of thickness using the conditions. The situation under consideration arises in the absence of external geological boundaries and is typical for ore bodies of various morphologies: mineralized dykes, mineralized zones, stockworks, skarns, ore shoots, etc.</p> <p>Earlier, prior to the study of this problem, the composite calculations were implemented in the Micromine software for the following scenarios: along boreholes, by benches, by intervals, by geology, by grade.</p> <p>The software developers, starting from version 16, decided to implement the algorithm for calculating ore intervals based on the conditions as an independent method in a separate tab of the menu "Boreholes/Composite calculation/By grade (GKZ)". The main varieties (parameters) of the algorithm for building of ore intervals include: Less Stringent Rules and Strict Rules. General provisions for considering ordinary ore intervals, the similarities and differences in the operation of the main varieties (parameters) of the algorithm are given.</p> <p>Formally, for calculating ore intervals based on the conditions, it is necessary to apply the algorithm that takes into account all the conditions as fully as possible. In Micromine software, this algorithm consists in applying the Strict Rules with the "Deny adjacent ore intervals" option enabled. In practice, multivariance of "tie" and delineation of ore bodies based on the identified ore intervals takes place. The paper provides several formalized examples explaining the legitimacy of using one or another method for identifying ore intervals.</p> <p>Automation of the process of determining ore intervals leads to significant increase in the speed of data processing. The described algorithms allow for, subject to properly prepared and verified data available, to rapidly calculate and statistically process numerous options for obtaining ore intervals based on the input variable data of conditions: CoG, minT, maxTS, maxGT.</p>
Keywords:	ore body boundaries, ore interval, ordinary sample, composites, Resource Estimation Parameters, expert examination and Reserve Estimation.
References:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Osipov V.L. Opredelenie rudnykh intervalov pri podschete zapasov v programme Micromine [<i>Determination of ore intervals in the calculation of reserves in the program Micromine</i>]. Gornyi zhurnal=Mining Journal, 2015, No. 4, pp. 82-87. 2. Karpenko I.A., Kulikov D.A., ChRemisin A.A., Golenev V.B. K voprosu o metodike vydeleniya rudnykh intervalov pri podschete zapasov [<i>To the question about method of remnant ore separation during reserves calculation</i>]. Markshejderiya i nedro-pol'zovanie=Mine surveying and subsoil use, 2009, No. 1, pp. 7-18. 3. Zaykov V.G. O formirovanii rudnykh intervalov po zadannym konditsiyam. Spravka Digimine [<i>About formation of remnant ores by staded conditions. Digimine</i>].



4. Pukhalskiy L.Ch., Shumilin M.V. Razvedka i opytirovaniye uranovykh mestorozhdeniy [Prospect and testing of uranium deposits]. Moscow, Nedra, 1977, 248 p.
5. Vikentev V.A., Karpenko I.A., Shumilin M.V. Ekspertiza podschetov zapasov rudnykh mestorozhdeniy [Examination of calculations of ore deposit reserves]. Moscow, Nedra, 1988, 199 p.
6. Shumilin M.V., Vikentev V.A. Podchet zapasov uranovykh mestorozhdeniy [Reserves estimation of uranium deposits]. Moscow, Nedra, 1982, pp. 59-62.
7. Appleyard G.R. An Overview and Outline, in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice (Ed: A C Edwards). 2001. (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
8. Liu L., Cao W. Computational 3D modeling on deep structure architecture and implication for ore exploration in the Tongguanshan ore field, Tongling, China. Geotectonica et Metallogenia, 2016, 40 (5), pp. 928-938.
9. Chen J., Tang J., Cong Y., Dong Q., Hao J. Geological characteristics and metallogenic model in the yulong porphyry copper deposit, East Tibet. Acta Geologica Sinica, 2009, 83 (12), pp. 1887-1900.
10. Feng X.-L., Wang L.-G., Bi L. Compartmentation cavability evaluation model of ore body. Yantu Gongcheng Xuebao / Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31 (4), pp. 584-588.
11. Wang L.-M., Chen J.-P., Tang J.-X. 3D positioning and quantitative prediction of Yulong porphyry copper deposit, Tibet, China based on digital mineral deposit model. Geological Bulletin of China, 2010, 29 (4), pp. 565-570.
12. Marcus M. Micromine at Minexpo. Mining Magazine, 2012, 204 (6), pp. 22-25.
13. Li R., Wang G., Zhu Y., Qu J. Three dimensional quantitative extraction and integration for geosciences information: A case study of Nannihu Mo deposit area (2014) Proceedings of the 16th International Association for Mathematical Geosciences - Geostatistical and Geospatial Approaches for the Characterization of Natural Resources in the Environment: Challenges, Processes and Strategies, IAMG 2014, pp. 445-447.
14. Kaputin Yu.E. Informacionnye tekhnologii planirovaniya gornyh rabot (dlya gornyh inzhenerov) [Information technology for mining planning (for mining engineers)]. Spb.: Nedra, 2004, 334 p.
15. Kuznecov Yu.N., Kurcev B.V., Stadnik D.A., Stadnik N.M. Nauchnye osnovy formirovaniya geoinformacionnoj bazy prognozirovaniya i ocenki zapasov ugol'nykh mestorozhdenij [Scientific foundations of the formation of a geoinformation database for forecasting and estimating the reserves of coal deposits]. Gornaya kniga, 2017, 124 p.