

В настоящее время компанией «Lan Ke Lithium» (провинция Цинхай, Китай, рис. 2, 3, 4) введен в эксплуатацию обогатительный промышленный комплекс на основе технологии сорбционного обогащения литиеносных рассолов. Годовая производительность комплекса по карбонату лития достигает 10 000 т [10].

За весь полувековой период исследования рассолов в России с целью рентабельного извлечения из них лития основным препятствием являлись климатические условия, а именно отсутствие на территории России сухого жаркого климата, который позволил бы путем испарения без дополнительных энергозатрат сконцентрировать литиевые рассолы. Наиболее перспективные литиеносные рассолы достигли предела насыщения по литию путем подземного концентрирования, и единственной рентабельной технологией получения из них лития является не выпаривание рассолов с повышением концентрации лития, а селективное сорбционное извлечение лития с получением первичного литиевого концентрата для переработки в товарные продукты потребления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Торикова, М.В. Металлоносные рассолы / М.В. Торикова // Разведка и охрана недр. — 2004. — № 11. — С.48–56.
2. Зелинская, Е.В. Теоретическое обоснование и разработка технологии селективного извлечения щелочных и щелочно-земельных

- металлов из подземных рассолов / Е.В. Зелинская: Автореф. дис.... д. т. наук. — Иркутск, 2003. — 39 с.
3. Рябцев, А.Д. Переработка литиеносного поликомпонентного гидроминерального сырья на основе его обогащения по литию / А.Д. Рябцев: Автореф. дис.... д. т. наук. — Томск, 2012. — 39 с.
4. Алексеев, С.В. Промышленные рассолы Сибирской платформы: гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация / С.В. Алексеев, А.Г. Вахромеев, Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев. — Иркутск: Изд-во «Географ», 2014. — 162 с.
5. Коцупало, Н.П. Химия и технология получения соединений лития из литиеносного гидроминерального сырья / Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев. — Новосибирск: Изд-во «ГЕО», 2008. — 291 с.
6. Патент № 2186729 Российская Федерация. Способ получения хлорида лития / Рябцев А.Д., Серикова Л.А., Коцупало Н.П. и др. — опубл. 10.08.02., Бюл. № 22.
7. Порошина, И.А. Кристаллохимические особенности анионных разновидностей двойного гидроксида алюминия, лития / И.А. Порошина, Н.П. Коцупало, Л.Т. Менжерес и др. // Журнал структурной химии. — 1994. — Т. 35. — № 5. — С.158–165.
8. Рябцев, А.Д. Разработка технологии обогащения гидроминерального литийсодержащего сырья / А.Д. Рябцев // Физико-химические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2005. — № 6. — С.89–97.
9. Рябцев, А.Д. Сорбционное извлечение лития из природных высокоминерализованных рассолов / А.Д. Рябцев, Н.П. Коцупало // Химическая технология. — 2004. — № 6. — С. 4–16.
10. Рябцев, А.Д. Промышленное получение и характеристика гранулированного сорбента для производства литиевого концентрата из природных рассолов / А.Д. Рябцев, Н.П. Коцупало, А.А. Кураков и др. // Химическая технология. — 2013. — Т. 14. — № 9. — С 547–553.

© Торикова М.В., Михеева Е.Д., 2016

Торикова Маргарита Валерьяновна  
Михеева Екатерина Дмитриевна // Galsuta@rambler.ru

## УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 553.048

Скрудите Р.А., Акифьева А.Д., Гиль В.А. (ФБУ «ГКЗ»)

### ОПЫТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ТЭО КОНДИЦИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

*На примере трех месторождений различных геолого-промышленных типов показаны случаи применения геостатистических методов подсчета запасов, получивших распространение в государственной экспертизе ТЭО и подсчете запасов. Приведены относительные цифры расхождения подсчета запасов, выполненных по традиционной методике (метод разрезов) и с использованием геостатистических методов. Охарактеризованы типовые замечания по материалам с использованием геостатистических методов. **Ключевые слова:** ТЭО, подсчет запасов, геостатистика, блочное моделирование, бортовое содержание.*

Skruybite R.A., Akifeva A.D., Gil V.A. (GKZ)

### EXPERIENCE OF STATE EXAMINATION OF COUNTING STOCKS SOLID MINERALS AND SCOPING STUDY CARRIED OUT USING THE GEOSTATISTICAL METHODS

*There is the example of the three deposits of different geological and industrial types are shown cases of geostatistical methods for estimating reserves, spread in the state examination of the feasi-*

*bility study and calculation of reserves. The numbers are given relative differences reserves estimation made by the traditional method (the method of sections) and using geostatistical methods. There were characterized based on typical remarks using geostatistical methods. **Keywords:** Feasibility Study, reserves estimation, geostatistics, block modeling, cut-off grade.*

На сегодняшний день геостатистический подсчет запасов и блочные модели (БМ) широко применяются в горной отрасли. Помимо использования геостатистических методик в рамках подготовки ТЭО и подсчета запасов широкое применение получил подход когда БМ как способ представления запасов месторождения используется в горном разделе для оптимизации конечного контура карьера в соответствии с экономической конъюнктурой [2, 3, 5]. Кроме того, блочные модели месторождений широко используются для долгосрочного и среднесрочного планирования, управления качеством отработки месторождения, оценки содержаний на складах и пр.

ФБУ «ГКЗ» были разработаны Рекомендации [4], утвержденные МПР Протоколом № 6 от 10.02.2015 г. Эти рекомендации обобщают опыт применения геостатистических методов подсчета запасов в отечественной практике.

Можно констатировать применение двух основных методических приемов:

**А.** Блочное моделирование в объеме рудных тел, очерченных по традиционной методике, — *т.н. «жестких»*

каркасах по каждому бортовому содержанию. В качестве основного кондиционного показателя используется бортовое содержание — содержание в крайней пробе. Запасы в целом соответствуют традиционному подсчету, содержания полезных компонентов различаются.

**Б.** Блочное моделирование в объеме рудных тел, *оконтуренных по низкому «природному» борту*. Основной кондиционный показатель — cut-off grade — минимальное содержание в блоке блочной модели.

Фиксируются неустраняемые различия в запасах и средних содержаниях в связи с фундаментальными различиями методов.

В ТЭО и подсчете запасов геостатистический подсчет запасов применяется в следующих вариантах:

Повариантный подсчет запасов на основе одной БМ с применением cut-off grade.

Блочное моделирование внутри «жестких» каркасов по каждому бортовому содержанию в повариантном и основном подсчете запасов с целью оценки содержаний.

Блочное моделирование как способ контрольного подсчета.

Блочное моделирование для оптимизации контура проектного карьера.

Ниже приведены примеры материалов ТЭО и подсчета запасов с использованием геостатистических методов.

**І. Золоторудное месторождение золото-адуляр-кварцевой формации.** Представлено крутопадающими адуляр-кварцевыми малосульфидными жилами и жильно-прожилковыми зонами размером 250 × 400 м. Авторы разделили рудные тела на три домена по структурно-минералогическим критериям: домен 1 — основные жильные и жилообразные тела; домен 2 — оперяющие жильные и жилообразные тела второго порядка; домен 3 — два предыдущих домена и призальбандовая минерализация. Повариантный подсчет запасов произведен по пяти вариантам бортовых содержаний золота (0,8; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 г/т) методом геологических блоков. *Для оптимизации проектного контура* карьера использовался геостатистический подсчет по природному борту 0,5 г/т. В дальнейшем соответствие по вариантному традиционному подсчету проводилось путем подбора (тарирования) параметра cut-off grade по запасам (табл. 1, 2).

Для более подробного рассмотрения экспертизой было рассчитано сопоставление запасов по подсчетным блокам традиционного подсчета. Для отдельных блоков относительное расхождение в запасах составило до 50 %, а содержаний золота — до сотен процентов.

**Таблица 1**  
Соответствие бортовых содержаний и cut-off grade

| Бортовое содержание / Краевая выработка (условное золото), г/т | Cut-off grade, г/т |
|----------------------------------------------------------------|--------------------|
| 0.8/0.8                                                        | 0.9                |
| 1.0/1.0                                                        | 1.3                |
| 1.0/2.0                                                        | 1.8                |
| 1.0/3.0                                                        | 2.7                |
| 1.0/4.0                                                        | 3.7                |

**Таблица 2**  
Относительные расхождения подсчетов традиционным и геостатистическим методами. Месторождение І

| Категория запасов              | Запасы руды, % | Содержание, % |       | Запасы металла, % |        |
|--------------------------------|----------------|---------------|-------|-------------------|--------|
|                                |                | Au            | Ag    | Au                | Ag     |
| C <sub>1</sub>                 | -5.31          | -3.03         | -0.69 | -7.95             | -5.98  |
| C <sub>2</sub>                 | -4.80          | -5.00         | -6.36 | -11.20            | -10.86 |
| C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> | -4.87          | -5.13         | -5.67 | -10.84            | -10.28 |

В связи с тем, что минимальное содержание в блоке блочной модели на данный момент не является утвержденным кондиционным показателем, экспертизой было указано на невозможность использования представленной блочной модели. Было рекомендовано для оптимизации проектного контура карьера использовать блочную модель в каркасах по бортовым содержаниям.

**ІІ. Стратиформное свинцово-цинковое месторождение.** Линзовидные, лентовидные рудные тела, залегающие согласно простиранию вмещающих пород. Повариантный и основной подсчет запасов произведен по четырем вариантам бортовых содержаний условного цинка (1,0; 1,5; 2,0; 2,5 %) способом вертикальных сечений. Контрольный подсчет — методом геологических блоков. Блочное моделирование выполнялось для оптимизации контуров проектного карьера. Каркасы для БМ отстраивались по четырем вариантам бортовых содержаний, оконтуривание проведено по традиционной методике. В общей сложности выделено 11 доменов по 2 залежам. Сопоставление блочной модели выполнялось несколькими вариантами: а) сопоставление средних содержаний БМ со средневзвешенными содержаниями проб, попавших в рудный каркас (по алгоритму программного обеспечения); б) сравнением содержаний, полученных в результате разных методов интерполяции, — ординарного кригинга и метода обратного расстояния; в) сопоставление с традиционным подсчетом. При оценке содержаний геостатистическими методами наблюдается занижение по отношению к традиционным методам.

Было рекомендовано провести сопоставление геостатистического подсчета до и после усечения ураганных содержаний, а также дополнить материалы сопоставления с традиционным подсчетом более подробным сопоставлением с делением на домены и рудные тела (табл. 3).

**ІІІ. Медно-порфировое месторождение.** Линейный крутопадающий штокверк (3200 × 600 м) со сложным внутренним строением. Повариантный подсчет за

**Таблица 3**  
Относительные расхождения подсчетов традиционным и геостатистическим методами. Месторождение ІІ

| Категория запасов                | Запасы руды, % | Содержание, % |       |       | Запасы металла, % |       |      |
|----------------------------------|----------------|---------------|-------|-------|-------------------|-------|------|
|                                  |                | Zn            | Pb    | Ag    | Zn                | Pb    | Ag   |
| B                                | 5,6            | -14,7         | -19,1 | -10,6 | -8,3              | -12,4 | -4,5 |
| C <sub>1</sub>                   | 1,2            | -4,5          | -0,5  | 0,9   | -3,2              | 0,8   | 2,1  |
| C <sub>2</sub>                   | -1,2           | -3,1          | 2,0   | -2,7  | -4,3              | 0,8   | -4,0 |
| B+C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> | 0,4            | -2,3          | -2,0  | -1,5  | -1,9              | -1,6  | -1,1 |

Таблица 4

Относительные расхождения подсчетов традиционным и геостатистическим методами. Месторождение III

| Категория запасов              | Запасы руды, % | Содержание полезных компонентов, % |      |     |      | Запасы металла, % |      |      |    |
|--------------------------------|----------------|------------------------------------|------|-----|------|-------------------|------|------|----|
|                                |                | Cu                                 | Au   | Mo  | Ag   | Cu                | Au   | Mo   | Ag |
| C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> | 0,8            | 0,1                                | -3,2 | 0,2 | 20,7 | 1,4               | -1,9 | 10,4 | 21 |

сов произведен по трем вариантам бортовых содержаний условной меди (0,2; 0,25; 0,3 %) с использованием блочного моделирования. Выделение интервалов и оконтуривание рудных зон выполнялось по традиционной методике, расчет средних содержаний производился через блочную модель. Основной подсчет запасов выполнен методом вертикальных разрезов. Примененный в традиционном подсчете коэффициент рудоносности учтен с использованием модификации индикаторного кригинга. В связи с значительными различиями в запасах и средних содержаниях попутных компонентов экспертизой было указано на необходимость доработки блочной модели (табл. 4).

#### Типовые замечания:

1. Материалы приведены не полностью (отсутствие файла композитов по опробованию, каркасов рудных тел или доменов, файлы макросов при наличии). Материалы должны быть представлены в полноте, обеспечивающей эксперту возможность повторно создать блочную модель месторождения или его части и таким образом проверить подсчет запасов.

2. Ошибки в базе данных (БД). Формальные: скважина присутствует в таблице устьев, но отсутствует в таблице инклинометрии. Содержательные: опробование по БД не соответствует первичным данным (двухметровая проба в паспорте скважины в БД показана как три разные пробы длиной 1 метр); ошибка положения устья относительно топоповерхности («висят» в воздухе либо находятся под дневной поверхностью) [1].

3. Слабое освещение методики усечения ураганных содержаний [1].

4. Отсутствует статистическое исследование данных опробования отдельно по периодам геологоразведочных работ, по применяемой буровой технике, методике анализов и пр. [1]

5. Ненадлежащее изучение анизотропии оруденения. Отсутствие сводной таблицы параметров интерполяции (величин поисковых радиусов, эффект самородка, типа модели вариограммы).

6. Изучение анизотропии оруденения ведется по всему месторождению, без деления на домены, либо домены проведены формально, без взаимосвязи со структурой, минеральным составом и морфологией рудных тел.

7. Слабое статистическое и геостатистическое исследование параметров попутных компонентов.

8. Интерполяция проводится не отдельно по рудным телам, а сразу по всему домену или даже месторождению. В этом случае есть вероятность привлечения к интерполяции проб из рудных интервалов соседних рудных тел, что вносит дополнительную погрешность.

9. Сравнение геостатистического подсчета и подсчета традиционным методом проводится по всему месторождению. Целесообразно сравнение отдельно по доменам или рудным телам, либо по категориям запасов.

10. Отсутствуют или не выяснены причины расхождения запасов и содержаний.

#### Выводы

В настоящий момент в государственной экспертизе сложилась успешная практика использования геостатистических методов оценки в следующем виде:

оконтуривание производится по традиционной методике;

по контурам производится каркасное моделирование;

проводится блочное моделирование в пределах каркасов с интерполяцией содержаний геостатистическими методами (как правило, кригинг) или методом обратного расстояния.

При таком подсчете запасы, как правило, совпадают с традиционным подсчетом, различия появляются в оценке содержаний, что может быть связано как с естественным различием методов, так и с процедурами подготовки данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дюжев, С.В. Опыт экспертизы материалов ТЭО кондиций и подсчета запасов, выполненных с применением ГГИС. Экспертиза баз данных / С.В. Дюжев // Недропользование XXI век. — 2015. — № 5. — С.76–82.
2. Капутин, Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика / Ю.Е. Капутин. — СПб.: Недра, 2002. — 424 с.
3. Капутин, Ю.Е. Повышение эффективности управления минеральными ресурсами горной компании (геологические аспекты) / Ю.Е. Капутин. — СПб.: Недра, 2013. — 246 с.
4. Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов твердых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа. — М.: ГКЗ МПР РФ, 2015. — 86 с.
5. Coombes J. The art and science of resource estimation. Perth: Coombes Capability, 2010. -231p.

© Скруйбите Р.А., Акифьева А.Д., Гиль В.А., 2016

Скруйбите Раса Антанасовна // skruybite@gkz-rf.ru  
Акифьева Алена Дмитриевна // akifyeva@gkz-rf.ru  
Гиль Владимир Александрович // vladimir-gil@mail.ru

УДК 553.46:622.346.3:338

Лаптева А.М., Егорова И.В. (ФГБУ «ВИМС»)

#### ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ОСВОЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ВОЛЬФРАМА МИРА

*Рассматриваются перспективы освоения новых сырьевых объектов вольфрама в мире в зависимости от ситуации на мировом рынке и последствия для возможного ввода в эксплуатацию новых объектов. На сегодняшний день значительная часть добычи вольфрама сконцентрирована в Китае. При этом еще целый ряд стран располагает значительными ресурсами этого металла. Ключевые слова: вольфрам, сырьевая база, освоение месторождений, конъюнктура рынка вольфрама, прогноз.*