УДК 553.27:528.33:681.3

И.В.АПУХТИНА
Аспирантка кафедры геологии и разведки месторождений полезных ископаемых

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИКАТОРНОГО КРИГИНГА ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ (НА ПРИМЕРЕ ЯКОВЛЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Интерполяция содержаний железа в рудах методом полииндикаторного кригинга Яковлевского месторождения позволила учесть смешанные совокупности, которые были выделены на основе статистического анализа распределения содержаний железа богатых железных руд. С помощью индикаторного кригинга проведено вероятностное картирование различных типов руд («краски», «синьки») и пустых пород в пределах первоочередного участка отработки Яковлевского месторождения, что позволило учесть значения плотности различных типов руд при подсчете запасов.

Interpolation of iron grades of ores of the Yakovlevskoye deposit using Multiple-Indicator Kriging method allowed taking into consideration mixed accumulations, which had been identified using statistical analysis of iron grade distributions of iron-rich ores. Using Indicator Kriging, there was carried out probabilistic logging of different ore types (paint, blueing) and barren rocks within the bounds of the first-priority development zones of the Yakovlevskoye deposit. That allowed taking into consideration density values of different ore types by reserve estimation.

Необходимость повышения точности подсчета запасов месторождений в современных экономических условиях, а также оперативность их пересчета при изменении конъюнктуры рынка требует индивидуальных методических подходов к решению этих задач. Точность определения запасов зависит от многих факторов, среди которых реальная геологическая ситуация, система и плотность разведочной сети, точность и представительность определения исходных для подсчета запасов параметров, способы интерпретации геолого-разведочных данных, способы подсчета запасов и оценки точности определения запасов в недрах, требуемая надежность получаемой информации, зависящая от стадии разведки.

Результаты интерпретации геолого-разведочных данных являются единственной основой, по которой определяются все исходные данные для подсчета запасов – значения площади, мощностей и объема залежей, плотности полезного ископаемого, содержания полезных компонентов и т.д. Таким образом, методы интерпретации полного комплекса геолого-разведочных данных являются одним из существенных факторов, влияющих на возникновение погрешностей, снижение и повышение точности определения запасов в недрах. В связи с этим задача совершенствования методов интерпретации является весьма актуальной, что объясняет бурный процесс математизации, компьютеризации и поисков методологических основ для применения различных

математических аппаратов в геологии и геометрии недр для установления максимально правдоподобной модели месторождения по имеющейся информации.

При использовании компьютерных технологий на ранее разведанных месторождениях в России возникает масса проблем, которые сводятся к тому, что форма и содержание геологической информации, необходимой для подсчета запасов, составлены без учета требования предоставления исходных данных для компьютерных технологий. Данная работа направлена на нахождение методов, позволяющих учесть эту ситуацию.

Существует целый ряд методов интерполяции показателей качества полезного ископаемого, таких как содержание полезного компонента. При использовании метода обычного кригинга для интерполяции содержаний каждый структурный или статистический домен исследуют раздельно. Полииндикаторный кригинг применяется в тех случаях, когда обнаруживается смешение статистических совокупностей оцениваемого компонента и невозможность разделения этих выборок в пространстве.

Индикаторный кригинг представляет собой нелинейную трансформацию данных в 1 и 0. Содержаниям, чьи значения намного больше выбранного граничного содержания, приписывается такой же индикатор, как и тем, что лишь немного больше границы класса. Прямым результатом данного метода интерполяции является не значение содержания компонента, а функция накопленного распределения содержания. По этой функции затем вычисляется усредненное или ожидаемое содержание компонента.

Практика использования полииндикаторного кригинга включает в себя расчет и моделирование индикаторных вариограмм (вариограмм трансформированных данных) при серии граничных значений содержаний, определяемых статистически по графикам накопленной частоты и другим параметрам. При использовании медианного полииндикаторного кригинга вариограммы моделируются только для одного бортового содержания – медианы.

Таким образом, главной мотивацией использования многоиндикаторного кригинга является возможность разделения неоднородных совокупностей содержаний. В настоящее время полииндикаторный кригинг широко используется в горной промышленности на различных видах месторождений полезных ископаемых. Основными недостатками являются громоздкость построений многочисленных вариограмм при целом наборе классов содержаний и относительная трудоемкость определения истинного распределения. Метод полииндикаторного кригинга был применен для интерполяции содержаний Fe в пределах железистых кварцитов Костомукшского месторождения, а также в пределах богатых железных руд (БЖР) Яковлевского месторождения.

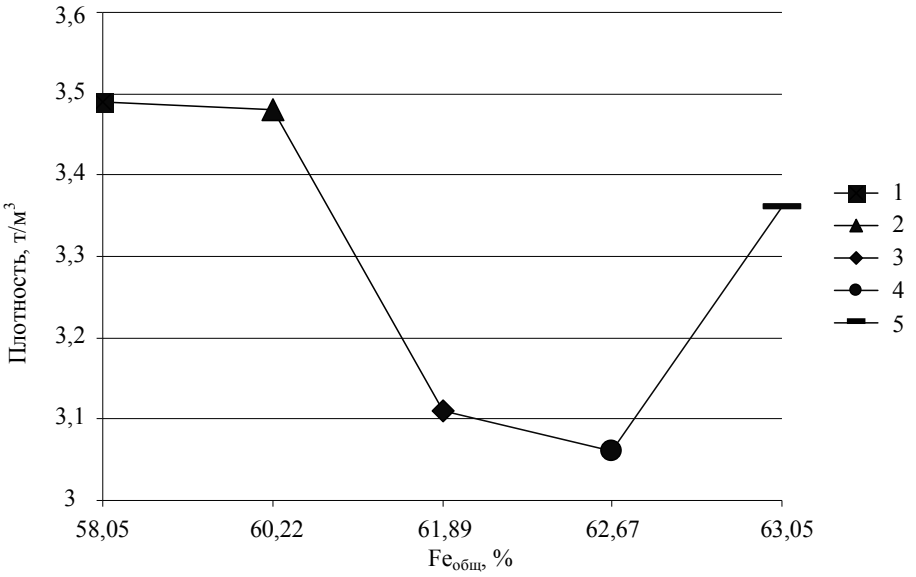
Яковлевское месторождение является типичным для КМА месторождением богатых руд, связанных с корой выветривания докембрийских железистых кварцитов, их размещение на глубине свыше 500 м определяет существенную специфику освоения этого объекта. Строение рудной залежи определяется сочетанием площадного и линейного типов коры выветривания железистых кварцитов и филлитовидных сланцев, что приводит к усложнению ее формы, особенно в зоне перехода к неокисленным железистым кварцитам. Наиболее ценным типом руд являются так называемые «синьки» – мартит-железослюдковые руды, среди которых встречаются существенно железослюдковые руды с содержанием железа 68-69 %. Второй тип руд представлен гидрогетит-гидрогаметитовыми разностями или «красками», которые отличаются более тонкодисперсным строением и худшими технологическими свойствами. Все разновидности руд представлены рыхлыми, полурыхлыми, глиноподобными и плотными, скальными, полускальными разностями.

Статистический анализ распределения содержаний железа БЖР Яковлевского месторождения показал смешанность статистических совокупностей. Для учета неоднородности статистических доменов в пределах рудного тела БЖР, обусловленной смешанностью выборок, были рассчитаны

блочные модели методом полииндикаторного кригинга. Для интерполяции содержаний общего железа в блочную модель рудного тела БЖР были выбраны следующие классы содержаний: 36, 40, 50, 60, 62, 65 и 67 %. Для каждого выделенного класса содержаний прогнозируется вероятность попадания прогнозируемого значения в рассматриваемый класс. Затем с учетом полученной функции накопленного распределения общего содержания железа вычисляется усредненное содержание компонента в каждом блоке.

Одной из исходных величин, которой обычно уделяется слишком мало внимания при подсчете запасов, является плотность (объемная масса) руды. Даже небольшое изменение этой величины может привести к значительному эффекту при оценке объемов и содержимого материала. Определение величины плотности руды в каждой пробе в процессе разведки в общем случае является экономически неэффективным. На Яковлевском месторождении в процессе геолого-разведочных работ для каждого опробованного интервала значение плотности не определялось. На первых этапах проведения геолого-разведочных работ при суммарном подсчете запасов богатых руд Яковлевского месторождения было принято средневзвешенное на распространение различных типов руд значение плотности, равное 3,3 т/м^3.

Статистически определенные значения плотности для различных типов БЖР Яковлевского месторождения существенно отличаются (см. рисунок). При этом статистическая зависимость между значениями плотности руды и содержаний железа не обнаруживается. Использование средневзвешенного значения плотности руды при подсчете суммарных запасов было вполне оправдано, поскольку запасы отдельных сортов определялись статистическим методом, в соответствии с их долей, определенной по результатам документации керна. Именно эта доля и учитывалась при определении средневзвешенного объемного веса руды. При подсчете запасов только по одному природному типу руд (мартит-железослюдковых – «синек») такой подход приведет к существенным погрешностям в подсчете запасов. Учитывая заметную изменчивость распространения рыхлых руд и необходимость их селективной выемки, подсчет запасов этого типа руд невозможно осуществлять статистическим методом, а необходимо их оконтуривание, которое может быть успешно реализовано на основании блочной модели месторождения.



Соотношение плотности и содержания железа для основных типов руд

1 – переотложенная руда; 2 – мартит-железослюдковая плотная; 3 – гидрогематитовая плотная; 4 – гидрогематитовая рыхлая; 5 – мартит-железослюдковая рыхлая

Учитывая достаточно сложную геометрию объемов, занятых различными природными типами руд, целесообразно для их выделения использовать индикаторный кригинг, который позволяет оценить вероятность нахождения в каждом элементарном блоке модели того или иного типа руд. С помощью индикаторного кригинга проведено вероятностное картирование различных типов руд (краски, синьки) и пустых пород в пределах первоочередного участка отработки. Для использования индикаторного кригинга проведена трудоемкая подготовка и обработка исходных данных, геостатистический анализ по основным типам руд и вмещающих пород.

После вероятностного картирования типов руд проведена кодировка модели содержаний полученной геологической модели и пересчет запасов с различными значениями удельного веса пород в зависимости от типа руды или породы. Таким образом, каждому блоку модели было присвоено значение плотности в соответствии с определенным типом руды. Оценка запасов Яковлевского месторождения проводилась с учетом значений плотности различных типов руд. Было проведено сравнение результатов оценки с учетом плотности в каждом элементарном блоке и с единым значением плотности руд. При этом в пределах участка первоочередной отработки для богатых руд ($Fe_{общ} > 65$ %) полученная разница в тоннаже увеличилась с 0,2 до 2 %, а отдельно для различных разновидностей руд от 1,8 до 7,3 %.

Выбор эффективной методики и математического аппарата для интерполяции параметров оруденения в процессе моделирования месторождений железистых кварцитов необходимо основывать на результатах статистического анализа данных опробования. Блочные модели рудных тел, полученные с применением метода индикаторного кригинга, позволяют учесть смешанность статистических совокупностей, а также провести геометризацию природных типов и технологических сортов руд. На основе полученных блочных моделей можно провести раздельный подсчет запасов для отдельных технологических сортов с учетом плотности этих разновидностей.

Научный руководитель д-р г.-м. н. проф. *А.В.Козлов*