

УДК 622.1

В.В. Руденко, А.Ю.Ведяев

МНОГОМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ГЕОМЕТРИЗАЦИИ КАЧЕСТВА КОМПЛЕКСНЫХ РУД ОРЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Исследуется задача разделения полезного ископаемого на геолого-технологические типы и сорта в массиве по степени однородности всего комплекса показателей качества. Показано, что, комбинируя статистические методы разграничения линейно упорядоченных множеств наблюдений и новую процедуру агрегирования полученных однородных интервалов, можно построить алгоритм геометризации рудных тел в недрах для случая, когда месторождение представлено в виде неупорядоченного класса линейно упорядоченных множеств m -мерных случайных величин.

Ключевые слова: колчеданно-полиметаллические руды, оконтуривание, геометризация рудных тел.

Семинар № 2

V.V. Rudenko, A.U. Vedyayev
**MULTIDIMENSIONAL QUALITY
GEOMETRIZATION MODEL OF
COMPLEX ORE BODIES OF
ORLOVSKOE DEPOSIT**

The problem of a mineral deposit division into geologic-technological types and sorts in situ according to the homogeneity degree of the whole complex of quality features is investigated. It is shown that combining the statistical dividing methods in case of linearly ordered sets of observations and a new procedure of aggregating the obtained homogeneous intervals it is possible to build an algorithm of geometrization of ore bodies in situ when a deposit can be presented as an unordered class of linearly ordered sets of m -dimensional multivariates.

Key words: sulphide and polymetallic ores, outlining, geometrization of the ore bodies.

В связи с повышением требований комплексного использования недр, а также вовлечением в промышленное освоение месторождений, включающих многокомпонентные руды сложного состава с более низкими содержаниями полезных компонентов и мелкими размерами зерен

промышленно ценных минералов, роль детального изучения вещественного состава руд значительно возрастает, причем именно в направлении взаимоувязанного исследования технологических свойств и особенностей вещественного состава полезных ископаемых. Основной задачей при этом является типизация руд, состоящая в разделении полезного ископаемого на природные типы по степени **однородности всего комплекса** показателей качества. Затем с учетом данных технологических исследований эти типы объединяют в технологические сорта.

Руды Орловского колчеданно-полиметаллического месторождения характеризуются комплексным составом и большим разнообразием природных минеральных типов, причем последние находятся в сложных пространственных взаимоотношениях друг с другом. Резкие контакты между ними отсутствуют и наблюдаются постепенные переходы. Вертикальная зональность проявляется не во всех

сечениях и участках рудных тел. Всего насчитывается 11 типов, которые по суммарному содержанию Pb и Zn объединяются в два основных промышленных технологических сорта (медно-колчеданный и полиметаллический) для раздельного обогащения.

Поскольку на момент исследований руды различных типов и сортов добывали валовым способом, то на комбинате постоянно проводили исследования по раздельной отработке медно-колчеданных руд. С этой целью ставилась задача оконтуривания технологических сортов руд в недрах, поскольку качественные характеристики добытых руд зависят от достоверности их оконтуривания в массиве, т.е. геометризации рудных тел месторождения по технологическим сортам. Задача оказалась чрезвычайно сложной, и основной упор был перенесен на создание систем порционной и покусковой сортировки отбитой руды с применением методов физического контроля для ее последующего дифференцированного по технологическим сортам транспортирования и посортного аккумуляирования в сортовых рудоспусках.

Сложность задачи картирования технологических сортов в массиве обусловлена тем, что каждый из показателей качества руд имеет свое пространственное размещение, т.е. свою геометрию. В результате возникает набор карт изолиний, каждая из которых отображает пространственное размещение одного показателя (рис. 1). При этом границы типов, выделенных на одних картах, нередко вступают в противоречие с границами, полученными с помощью других карт. Особенно сложной и практически неразрешимой имеющимися графическими методами ситуация становится в том случае, если корреляция между соот-

ветствующими компонентами отсутствует. Например, поскольку на Орловском месторождении величина коэффициента корреляции между Cu и Zn близка к нулю, то распределение соответствующих максимумов и минимумов изолиний не совпадает. Следовательно, при планировании подготовительно-нарезных работ возникает неоднозначность в вопросе реального положения границ между различными типами и сортами, что приводит к существенному снижению качества руды при ее раздельной посортной отработке.

Отмеченные противоречия, однако, не возникнут, если для поиска границ будет использован сразу весь комплекс картируемых показателей (признаков). Впервые данный многомерный подход к геометризации использован в работе [3]. Среди прочего, он опирается на новое для геологии понятие границы.

В геологических исследованиях под термином граница всегда подразумевалась точка, линия или поверхность. Однако задать границу между двумя множествами (а геологические наблюдения всегда дискретны) можно и простым перечнем элементов этих множеств или указанием условий, определяющих включение элемента в то или иное множество. Таким образом, задав некоторый класс множеств, являющийся разбиением второго порядка исследуемого пространства, мы тем самым однозначно определим и границы между множествами, образующими данный класс.

В той же работе впервые приводится пример геометризации рудного месторождения по данным опробования комплекса из трех компонентов (Cu, Zn, Pb). Результат геометризации представлен в виде схематической карты, на которой участки, принадлежащие одной статистически однородной группе

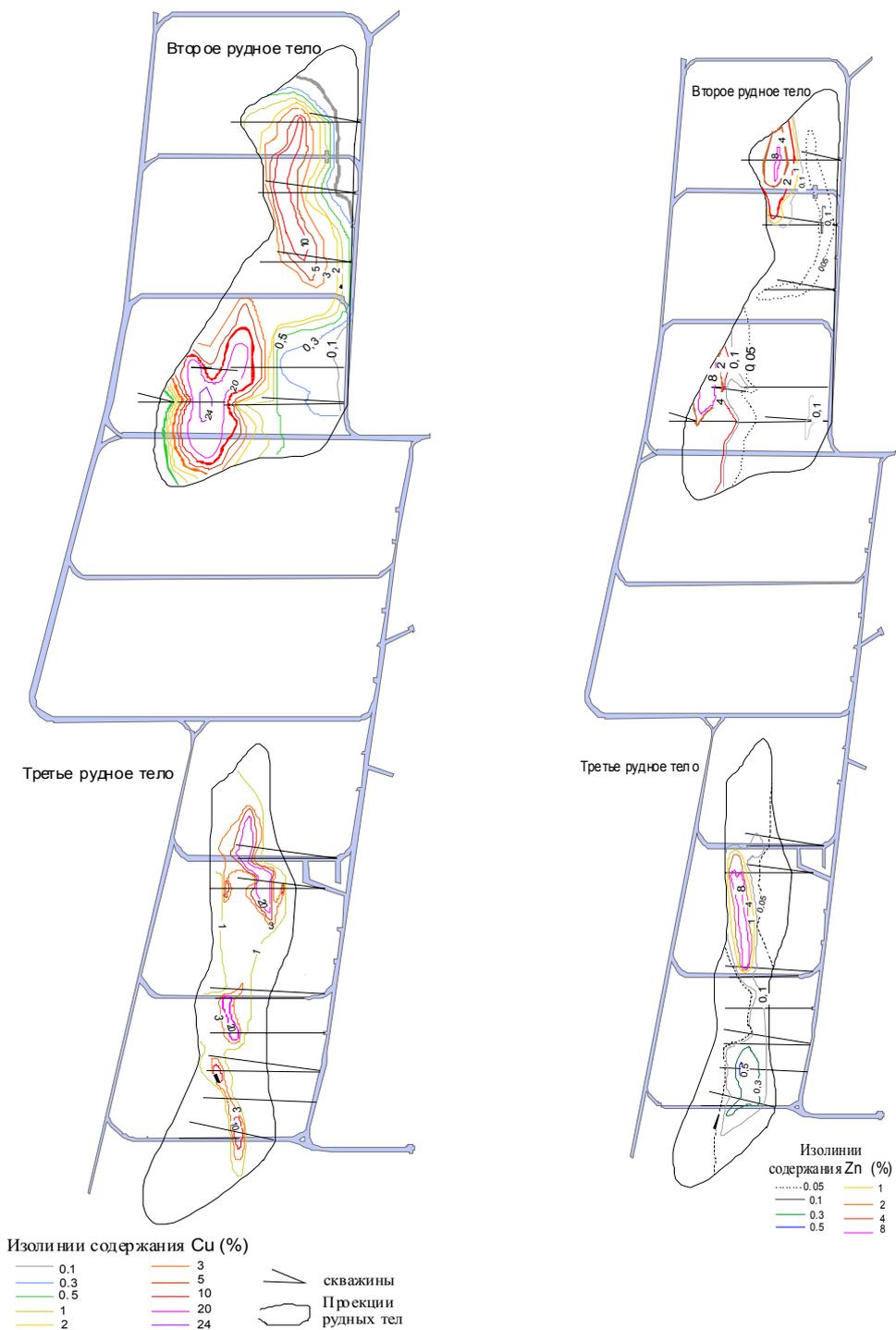


Рис. 1. Классическая геометризация Cu и Zn (проекция на 8-ой горизонт)

наблюдений, показаны одинаковой штриховкой. «Такой принцип составления карты коренным образом отличается от обычно применяемого метода изолиний. На приведенной карте участки с одинаковой штриховкой представляют собой области стабильного поведения всего геохимического комплекса, разделение которых на более дробные участки изолиниями или каким-либо другим методом не имеет смысла» [3].

Попытки реализации данной многомерной модели геометризации для решения практических геологоразведочных задач большой размерности поставили, однако, ряд вопросов, от которых зависело качество получаемых решений. Прежде всего, применяемый в задачах разграничения критерий Родионова оказался весьма чувствительным, улавливая даже небольшие изменения в поведении комплекса признаков. В результате количество однородных групп наблюдений становилось явно избыточным. Предложенная ранее процедура округления результатов разграничения, заключающаяся в последовательном увеличении критического значения, приводила, помимо увеличения размеров однородных групп, к существенным искажениям результатов многомерной геометризации. В итоге изображение теряло ту степень четкости, которая необходима, чтобы можно было поверить в надежность получаемых результатов.

Обратим, однако, внимание на то, что отмеченные искажения связаны с процедурой разграничения, но не с процедурой **агрегирования** получаемых при обычном критическом значении локальных однородных совокупностей (групп наблюдений) в «более крупные обобщенные совокупности». Следовательно, выполнив разграничение при достаточно надежном уровне зна-

чимости и агрегируя затем полученные локальные однородные группы наблюдений, можно решить задачу, не нарушая исходных предположений (например, требования локальной независимости признаков, локального равенства дисперсий и т.д.). На рис. 2 впервые показан процесс агрегирования, продолжающийся до тех пор, пока число однородных групп не станет равным некоторому заранее заданному числу, или пока не будет зафиксирован резкий рост очередного минимального значения критерия по сравнению с предыдущим. Последняя ситуация, очевидно, означает, что к данному шагу все локальные флуктуации в поведении комплекса признаков, отличающиеся незначительным ростом критерия по сравнению с критическим значением, уже исключены и остаются только крупные однородные совокупности наблюдений, соответствующие искомым природным типам руд.

Поскольку в условиях детальных и эксплуатационных разведочных работ исходные данные представлены достаточно регулярными сетями опробования, чаще всего расположенными в виде разведочных линий, профилей и горизонтов, то и разведываемое месторождение может быть представлено не одним пространством (множеством наблюдений), а системой подпространств, что позволяет в качестве его математической модели рассматривать класс непересекающихся линейно упорядоченных множеств m -мерных случайных величин. Следовательно, комбинируя классическую модель разграничения линейно упорядоченного пространства на однородные интервалы и процедуру агрегирования однородных интервалов можно построить алгоритм проверки гипотезы об однородности геологического пространства для случая, когда



его можно представить в виде неупорядоченного класса линейно упорядоченных множеств m -мерных случайных величин. Тогда всё исследуемое месторождение окажется разделенным на однородные слои (столбы, блоки), которые можно рассматривать как результат прослеживания всего комплекса признаков от одной разведочной скважины (линии) к другой. Подчеркнём, что размерность прослеженного пространства всегда на порядок выше, чем у базовых подпространств (например, прослеживание скважин образует разрез). На этой основе уже не составляет труда выполнить дифференцированный поблочный подсчёт запасов, основанный на учете индивидуальных количественных оценок запасов выемочных единиц по всему комплексу показателей качества. При этом объектом оценки запасов становится уже не геологический блок (как в методике ГКЗ), а выемочный участок, который может совпадать с однородным блоком или состоять из нескольких однородных частей. Такое понимание объекта оценки запасов полезных ископаемых открывает большие возможности для детализации расчетов кондиций и уточнения экономически целесообразных границ отработки запасов в недрах, поскольку оценка

Рис. 2. Агрегирование локальных однородных групп наблюдений

запасов по средним технико-экономическим показателям уже не удовлетворяет современным требованиям экономики.

Рассмотрим результаты многомерной геометризации Орловского колчеданно-полиметаллического месторождения. При этом использованы данные количественного атомно-адсорбционного анализа на Cu, Zn, Pb, Ba, Fe, Au, Ag по метровым интервалам рудного керна эксплуатационных разведочных скважин, пробуренных в 1989-92 г.г. между 8 – 9 и 8 – 7 горизонтами на полную мощность рудных тел в рамках проекта по изучению распределения благородных металлов в рудах и вмещающих породах Орловского месторождения (данные любезно предоставлены И.В.Ведяевой).

С помощью рассмотренного выше алгоритма, реализованного в виде комплекса программ для обычного персонального компьютера, была выполнена многомерная геометризация рудных тел в проекциях на 8-ой и 9-ый горизонты, результаты которой представлены на рис. 3. При этом использованы данные 1376 анализов по 58 скважинам. Ниже в таблице приведены основные статистические характеристики полученных однородных совокупностей, соответствующих природным типам руд.

Как видно из таблицы и рисунка, всего выделено 5 природных типов руд. По суммарному содержанию Pb и Zn эти природные типы могут быть объединены в два основных промышленных технологических сорта:

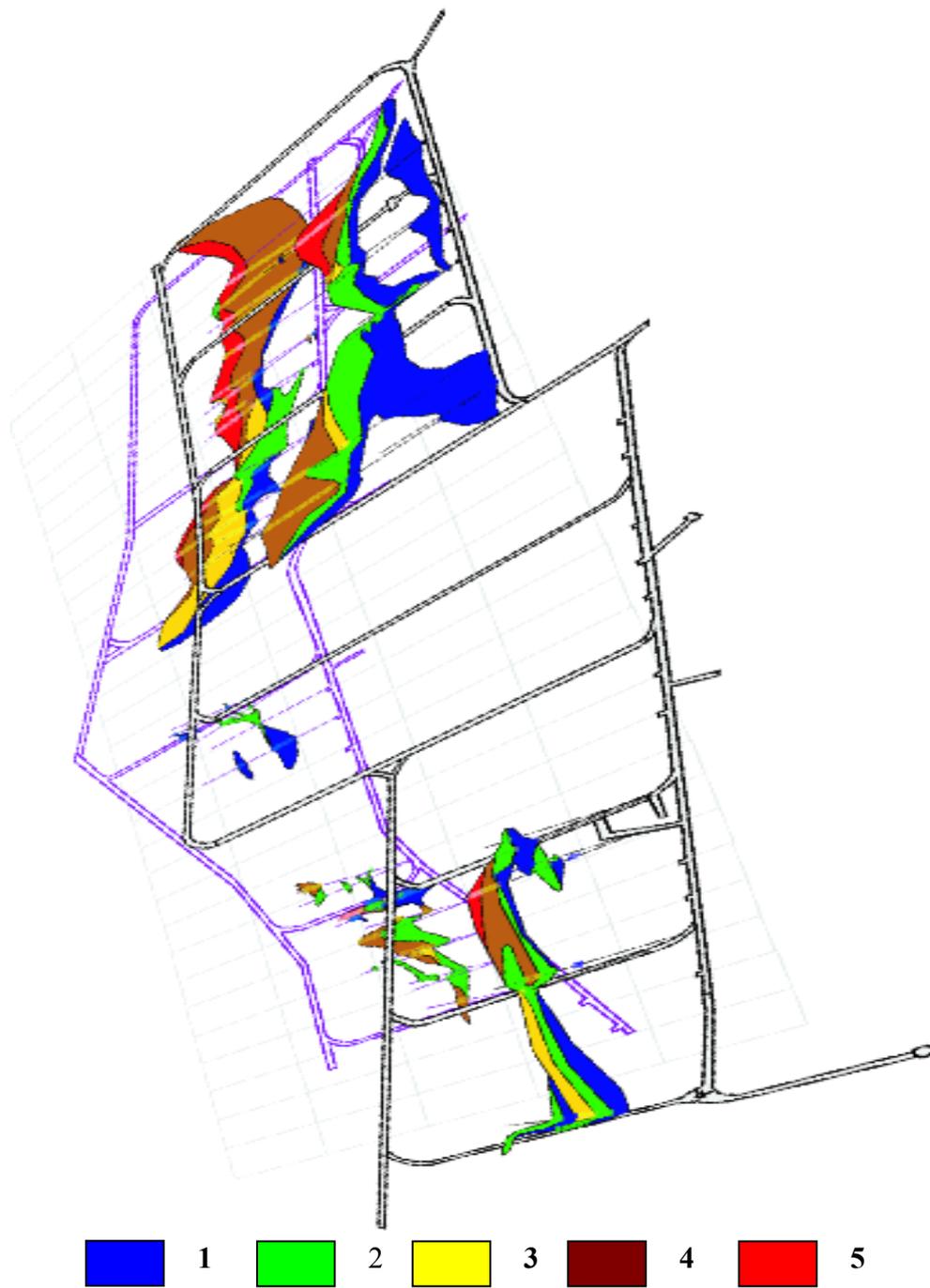


Рис. 3. Многомерная геометризация Орловского месторождения по природным типам руд (названия типов см. в таблице)

**Статистические характеристики однородных групп
(природных типов руд)**

Тип руд	Средние содержания компонентов						
	Fe	Cu	Zn	Pb	Ba	Ag	Au
Серно-колчеданный (1)	10,07	0,87	0,24	0,09	0,13	1,34	0,12
Медно-колчеданный (2)	18,56	7,30	0,26	0,06	0,13	6,52	0,15
Медно-цинковый (3)	34,86	13,57	0,82	0,07	0,31	33,78	0,41
Полиметаллический (4)	36,35	6,32	3,66	0,84	2,03	23,88	0,61
Барит-полиметаллический (5)	27,98	1,57	6,21	1,72	14,99	60,03	1,11

I) барит-полиметаллический (4 и 5 природные типы) и II) медно-колчеданно-цинковый (1, 2 и 3 природные типы).

Эти сорта, выделяемые для раздельного обогащения, различаются по суммарному содержанию Pb и Zn (для сорта II суммарное содержание Pb + Zn < 1,0). Данное соотношение полностью соответствует тому, которое принято на комбинате. Однако теперь эти сорта выделены в недрах, т.е. в массиве, а не в результате сортировки уже отбитой руды, что создает объективные предпосылки для эффективного функционирования сис-

темы управления качеством путём селективной посортной отработки и сокращения объёмов покусковой сортировки добытых руд.

Таким образом, многомерная геометризация недр по технологическим сортам может иметь решающую практическую значимость для планирования подготовительно-нарезных работ с учетом вариантов систем разработки, применение которых целесообразно для того или иного сорта, выделенного и оконтуренного именно в недрах, с последующей селективной выемкой по технологическим сортам в максимально возможной степени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов В.Н., Руденко В.В., Бадамсурэн Х., Эггардт В.И., Буянов М.И. Оценки недропользования. – М.: Изд-во Академии Горных наук, 2001. – 296 с.
2. Попов В.Н., Бадамсурэн Х., Буянов М.И., Руденко В.В. Квалиметрия недр. –

М.: Изд-во Академии Горных наук, 2000. – 303 с.

3. Родионов Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. – М.: Недра, 1968, 158 с. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Руденко В.В. – профессор, доктор технических наук,
Ведяев А.Ю. – аспирант,
Московский государственный горный университет,
Moscow state mining university, Russia, ud@msmu.ru

