

УДК 622:550.8

Д.В. Лакотош

ГЕОСТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ УРУПСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Семинар № 1

К основным геолого-промышленным параметрам относят мощность рудного тела и концентрации меди, цинка и серы. Для установления статистических характеристик этих параметров были обработаны данные по, примерно, тысяче сквозных пересечений рудного тела и по нескольким тысячам рядовых проб. При этом изучался следующий ряд вопросов:

- изменчивость статистических характеристик параметров в зависимости от типов руд;

- сопоставление данных бурения скважин с поверхности с результатами эксплуатационной разведки;

- сопоставление основных параметров по сквозным и рядовым пробам;

- установление взаимосвязей между параметрами.

Любые переменные величины статистически принято характеризовать с помощью функций распределения. Последние выражаются в виде формул, вариационных (полигональных) кривых, а также гистограмм и таблиц. При аналитическом представлении фактические распределения переменных сводятся к некоторым теоретическим законам, из которых наибольшее распространение в геологии получали нормальный и логнормальный законы распределения. Подобный подход особенно удобен, по-

скольку позволяет характеризовать весь ряд значений исходной переменной с помощью небольшого числа параметров - среднего значения ряда и коэффициентов вариации, асимметрии и эксцесса. Однако, при обработке данных по Урупскому месторождению этот способ нам кажется неприемлемым по следующим соображениям:

- генеральные совокупности основных геолого-промышленных параметров представляют собой сложные неоднородные смеси различных законов распределений, отражающие неоднородность рудообразующего процесса. Неоднородность данных не позволяет уверенно оценивать параметры распределения в рамках выбранной теоретической модели. Так, например, колебания оценок параметров даже в выборках объемов около 1000 проб могут составить для среднего значения - до 16 % (относительных), для коэффициента вариации - до 30 % (относительных);

- описание исходных распределений с помощью параметров нормального или логнормального законов нивелирует их индивидуальные особенности, хорошо проявляющиеся в гистограммах, и способные служить источником ценной информации, характеризующей определенным образом генезис руд. Исходя из этого, в качестве основной статистической

характеристики распределения для геолого-промышленного параметра принята гистограмма частностей, которая, как известно, задает распределение числа проб в долях единицы от общего количества проб по классам значений признака. Классы значений основных геолого-промышленных параметров приняты:

- для мощности - через 1 м;
- для концентрации меди - через 1%;
- для концентрации цинка - через 0,2%;
- для концентрации серы - через 5%.

Гистограммы распределений, вычисленные по разным выборкам при числе проб большем 100, оказываются визуально устойчивыми.

Изменчивость статистических характеристик по типам руд. На основе журналов опробования отдела ГРР, а также предварительного анализа данных опробования выделены следующие сорта руд:

1. медно-колчеданные руды;
2. кремнисто-колчеданные руды (так называемые «кварцитовидные» породы);
3. вкрапленные руды в кварцевых альбитофирах;
4. серно-колчеданные руды;
5. оруденелые кремнистые сланцы;
6. оруденелые «туфы» кварцевых альбитофиров.

Наибольший интерес представляет изучение первых трех типов руд.

Анализируя приведенные графики можно сделать следующие выводы:

1. Для меди кремнисто-колчеданных и в особенности вкрапленных руд характерны асимметричные, близкие к экспоненциальному закону распределения, когда основная доля проб сосредоточена в классах низких значений признака. Гистограмма меди для медно-колчеданных руд более

симметрична и обладает длинным «хвостом» в области высоких значений признака;

2. Для цинка резко асимметричное распределение значений еще более выражено. Необходимо отметить также значительную неоднородность распределения цинка для медно-колчеданных руд, выраженную через появление максимумов в области высоких значений;

3. Особенный интерес представляют гистограммы серы. Так графики медно-колчеданных руд с одной стороны и вкрапленных и кремнисто-колчеданных руд с другой, принципиально различны: гистограмма серы в медно-колчеданных рудах обладает симметрией и даже правоасимметрична, в то время как сера в кремнисто-колчеданных и в особенности вкрапленных рудах обладает значительной левосторонней асимметрией. Гистограмма обобщенной выборки представляет собой характерное сочетание обоих описанных типов распределений.

По серно-колчеданным рудам была обработана только сера, поскольку они практически не содержат медь и цинк. Форма графика принципиально не отличается от гистограммы медно-колчеданных руд со смещением центра симметрии в область низких значений примерно на 4-5 %. Избыток серы в медно-колчеданных рудах при совпадающей форме гистограмм, можно целиком отнести за счет добавления серы медь- и цинк-содержащих сульфидов, что позволяет говорить о наложенной медно-цинковой минерализации в рамках общего гидротермально-осадочного рудогенеза.

Результаты обработки оруденелых кремнистых сланцев и «туфов» кварцевых альбитофиров несопоставимы с изученными сортами руд - все пробы сосредоточены в области низких

значений признака. Гистограммы этих распределений также имеют резко асимметричное строение.

При объяснении полученных результатов необходимо отметить следующее: по нашему мнению, симметричные распределения полезных компонентов свидетельствуют о пространственно-временной устойчивости рудообразующего процесса. Асимметричные распределения характерны для неоднородно протекающих во времени и пространстве процессов. В некоторых случаях симметричные распределения рудных компонентов свидетельствуют об экзогенном, а асимметричные - об эндогенном рудообразовании.

Таким образом, можно говорить о различном соотношении гидротермального и осадочного процессов, объясняя генезис различных сортов руд и различных рудных компонентов. Это подтверждается при обработке данных результатами.

Сопоставление данных повер-хностных скважин и результатов эксплуатационных работ.

Хотя сопоставление статистических данных бурения с результатами проходки горных выработок и эксплуатационной разведки нельзя принять за основу при установлении причин расхождения в значениях параметров, а также для расчета поправочного коэффициента, оно позволяет получить дополнительные данные и проконтролировать другие методы. Для этой цели были обработаны данные бурения скважин с поверхности, попавшие на участок рудного тела до 6-го горизонта включительно (79 скважин), а также около тысячи пересечений рудного тела, полученных при эксплуатационной разведке и обработке рудного тела на этом участке. Соответствующие гистограммы приведены на рис. 2.8. Необходимо от-

метить отсутствие принципиальных отличий выборочных гистограмм для меди, цинка и серы, причем все средние содержания в буровых скважинах занижены для меди - на 0.48 %, для цинка - на 0.21 %, для серы - на 1.05 % (абсолютных). В то же время распределение значений мощности отличается весьма значительно как по классам значений (по виду гистограммы), так и по средним - данные бурения превышают мощность рудного тела в среднем на 1,36 м. Таким образом, результаты опробования керна оказываются более или менее достоверными, а результаты измерения мощностей - в значительной степени искажаются.

Основная причина подобных расхождений заключается, по нашему мнению, в неправильном определении на стадии детальной разведки нижней границы промышленных руд. При определении границы кондиционных руд по керну скважины с промышленными колчеданными рудами были объединены непромышленные вкрапления лежачего бока при условии, что породный мост не превышает 3-х метров и среднее содержание в целом по рудному интервалу не меньше минимального промышленного. Формально правильный прием оконтуривания привел в данном случае к ошибкам из-за неправильных представлений о морфологии рудного тела, так как следует различать более или менее выдержанные тела промышленных вкрапленных руд, сопровождающие сплошные медноколчеданные руды, от крайне невыдержанных (не более 0.5-3-х метров протяженностью) мелких линз вкрапленных руд, насыщающих в отдельных участках породы лежачего бока. При эксплуатационной разведке эти линзы были исключены из контуров основного рудного тела.

Таким образом, разубоживание промышленного рудного интервала непромышленными вкрапленниками лежащего бока и послужило причиной систематического завышения мощности и занижения концентрации рудных компонентов.

Сопоставление рядовых и сквозных проб. Нужно отметить отчетливое уменьшение разброса значений (дисперсии) и асимметрии распределения изученных параметров при переходе от рядовых к сквозным пробам. Уменьшение дисперсии с возрастанием объема пробы экспериментально установлено для ряда рудных месторождений. Приведенные данные показывают, что это соотношение имеет место и на Урупском месторождении.

Изучение взаимосвязей между параметрами. Изучение взаимосвязей между параметрами способствует развитию более четких представлений о механизме рудообразующего процесса. Необходимо отметить также, что форма и теснота взаимосвязей определенным образом связаны с морфологией рудного тела, пространственным распределением рудных компонентов и геометрией проб. Изучение взаимосвязей между параметрами для проб разной геометрии может оказаться полезным при анализе геометрии проб и приемов оконтуривания.

В настоящее время наиболее разработан анализ линейных взаимосвязей между признаками. Силу связи в этом случае измеряют с помощью коэффициента линейной корреляции Пирсона

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{S_x S_y (n-1)}$$

\bar{x}, \bar{y} - средние значения параметра x и параметра y ; x_i, y_i - значения этих параметров в i -ой пробе; n - число проб, по которым оценивается связь; $S_x S_y$ - среднеквадратические отклонения значений относительно среднего рассчитываются по формуле

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Коэффициенты корреляции для параметров, изучаемых совместно, обычно сводятся в корреляционную таблицу (матрицу):

у	х			
	мощность	медь	цинк	сера
мощность	1.00	0.11	0.07	0.27
медь		1.00	0.04	0.60
цинк			1.00	0.12
сера				1.00

В верхней части таблицы (выше главной диагонали) приведены все парные коэффициенты корреляции между изученными параметрами, рассчитанные для 200 случайно выбранных пересечений рудного тела. Критическое значение коэффициента для данного числа проб при вероятности ошибки 5 % составляет $R_{кр}=0.13$. Значения, большие критического, в таблице выделены. Таким образом, значимая линейная связь установлена для 2-х пар: мощность - сера и медь - сера. Существование положительной связи между мощностью рудного тела и концентрацией серы, легко объяснить тем, что участки рудного тела сложенные сплошными медно- и серно-колчеданными рудами, обогащенными серой, в среднем имеют большую мощность, чем участки в разрезе которых преобладают вкрапленные руды. Необходимо обратить внима-

ние на достаточно сильную связь между медью и серой ($R = 0.60$) и одновременно на полное отсутствие связи в парах компонентов медь - цинк и цинк - сера, что свидетельствует об обособленном положении цинка в рудном процессе, и в частности, о более позднем времени его образования, ограниченном сверху временем начала образования кремнистых сланцев, а также о несовпадении медной и цинковой минерализации.

Для сравнения рассчитана корреляционная таблица этих же параметров по данным всех поверхностных разведочных скважин:

у	х			
	мощность	медь	цинк	сера
мощность	1.00	-0.78	-0.03	-0.40
медь		1.00	0.25	0.48
цинк			1.00	0.22
сера				1.00

Критическое значение коэффициента корреляции в этом случае составляет $R_{кр}=0.15$. Обращает на себя внимание появление сильных отрицательных связей в парах мощность-медь и мощность-сера. Этот результат легко объяснить неправильным определением нижней границы промышленных руд. В результате этого в рудный интервал «запрессовывались» некондиционные прожилково-вкрапленные руды лежачего бока. Чем больше величина «запрессованных» некондиционных руд, тем больше полученная таким образом мощность рудного тела, и меньше содержания полезных компонентов в этом пересечении. Отсюда появляются ложные отрицательные связи между компонентами, в то время как фактические соотношения между ними совершенно иные.

Следует отметить также появление значимых положительных связей в

парах медь-цинк и цинк-сера. Этот факт подлежит дополнительному изучению, однако, можно предположить, что контуры рудного тела, отстроенные с включением убогих вкрапленных руд, в большей степени соответствуют контурам цинковой минерализации и полнее вскрывают взаимоотношения меди, цинка и серы, чем искусственные контуры промышленных руд.

Корреляционный анализ параметров позволяет изучать силу линейной связи или связи, близкой к линейной. Фактические взаимоотношения геологических переменных часто оказываются значительно более сложными. В этом случае полезным оказывается графический метод изучения взаимосвязей, заключающийся в построении полей корреляции для изучаемых параметров. При обработке данных по рядовым пробам были построены поля корреляций для следующих пар параметров: 1. Медь – сера; 2. Цинк – сера; 3. (Цинк+медь)-сера - для проб с концентрацией серы выше 30 %; 4. Цинк - медь - для проб с концентрацией серы до 30 %; 5. Цинк - медь - для проб с концентрацией серы в пределах от 30 до 36 %; 6. Цинк - медь - для проб с концентрацией серы выше 36 %.

Из анализа полей корреляций приведенных пар сделаны следующие выводы:

1. Взаимоотношения, между всеми компонентами имеют, в общем, хаотический характер и могут быть изучены только статистически (в среднем);

2. Для всех приведенных графиков характерна структурная неоднородность. На графиках проявляются группы точек, соответствующих различным сортам руд;

3. На многих графиках можно выделить участки возрастания (в сред-

нем) одного компонента при возрастаниях другого:

а) увеличение концентрации меди при увеличении серы от 30 % до 50 %;

б) увеличение суммы меди и цинка в пробах при увеличении концентрации серы от 30 до 50 %;

в) увеличение концентрации цинка при увеличении концентрации серы на участке от 30 до 45 % . На графиках отчетливо намечается предел серы для серно-колчеданных руд (~40 %). Выше этого предела ни одна проба не содержит меди меньше 1,5 %. Подтверждается значительное увеличение серы в медно-колчеданных ру-

дах за счет добавления медь- и цинко-содержащих сульфидов;

5. Медно-колчеданные руды с содержанием серы свыше 40 %, не содержащие меди меньше 1.5 % могут содержать цинк в любых количествах, что также подтверждает его обособленное положение в рудообразующем процессе;

6. Практически все пробы с содержанием серы больше 30 % содержат меди и цинка в сумме не меньше 1 %;

7. Связь между медью и цинком по приведенным данным не устанавливается. Распределение точек на корреляционном поле совершенно хаотическое **ПЛАБ**.

Коротко об авторе

Лакотош Д.В. – аспирант, Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 1 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.М. Гальперин*



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
УРМАНЧЕЕВ Вячеслав Исмагилович	Научно-прикладные основы совершенствования технологии бурения скважин на суше и континентальном шельфе	25.00.15	д.т.н.