

УДК 553.048

Ю.А. Малютин¹

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОН МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПО ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫМ ДАННЫМ

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1

Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1

Анализ моделирования зон минерализации штокверковых месторождений свидетельствует, что включение в зону минерализации прослоев пустых пород, расположенных среди минерализованных участков, мало влияет на смещение оценок в сторону снижения содержания и, наоборот, на смещение оценок в сторону завышения значительно влияют экстремальные значения содержания компонента, часто встречающиеся среди геологоразведочных данных.

Ключевые слова: бортовое содержание, зона минерализации, декластеризация, групповые и рядовые пробы, экстремальное содержание компонента, коэффициент вариации, лог оцененное среднее, метод дезинтеграции.

An analysis of modeling the mineralization zones of ore deposits indicates that the inclusion of waste rocks in a zone of mineralization has little effect on the drift of the estimates towards a lower content. On the contrary, the extreme contents of a component often containing among exploration data influence towards an overestimating component.

Key words: cutoff grade, mineralization zone, de clustering, group and ordinary samples, extreme grade, coefficient of variation, log estimated of mean, disintegration method.

Введение. Сейчас на практике широко применяется несколько подходов к моделированию зон минерализации. В первом подходе каркасная модель рудной залежи не создается, но, тем не менее, задаются общие пространственные ограничения. Подобный подход в большей мере используется, когда разведочные данные позволяют выяснить структурный и литологический контроль минерализации. Второй подход предусматривает оконтуривание минеральных скоплений по геологическим контактам, если наблюдается резкий контакт между минерализацией и вмещающими породами.

Третий подход предусматривает оконтуривание минерализации по так называемому естественному борту, он распространен при моделировании штокверковых месторождений. В этом случае минерализованные интервалы выделяются среди распределенных разведочных данных (результатов исследований проб) по так называемому естественному борту — границе между распространением неминерализованных (или слабоминерализованных) пород и минерализованных пород. Обычно эту границу находят на гистограмме логарифмированных значений содержания компонента (рис. 1).

На снижение качества минеральной концентрации и ее потерю в недрах влияет размер минимальной мощности минерализованной зоны и размер максимальной мощности неминерализованных (пустых) пород, включаемых в контур распространения минерализации. Включение

пустых прослоев (рис. 2) и минимальный размер минерализованной зоны часто обусловлены невозможностью селективной добычи минеральных залежей, так как современные горнорудные предприятия стараются работать с большой производительностью.

Методы и особенности моделирования минерализованных зон. Минимальная мощность зоны минерализации, представляющей интерес для оценки ресурсов и запасов месторождения, может быть строго регламентированной горно-техническими условиями разработки, например, при подземной добыче вертикально ориентированных минерализованных залежей не имеет смысла учитывать мощность зоны минерализации <3 м из-за несоответствия габаритов технических средств разработки и размеров предполагаемой горной выработки. Присоединение к интервалам минерализации интервалов вмещающих пород увеличивает положительную асимметрию в распределении компонентов (рис. 3).

Выбор максимальной мощности пустых пород, включаемых в контур минерализации, может зависеть не только от технологических условий отработки, но и от характера снижения среднего содержания компонента в минерализованной зоне. В табл. 1 показан пример расчета снижения содержания компонента по сравнению с его содержанием в интервалах минерализации для месторождений Кальмакыр и Ёшлик 1 (Узбекистан). Этот пример свидетельствует о том, что при

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, доцент, канд. геол.-минер. н.; e-mail: malyutin55@mail.ru

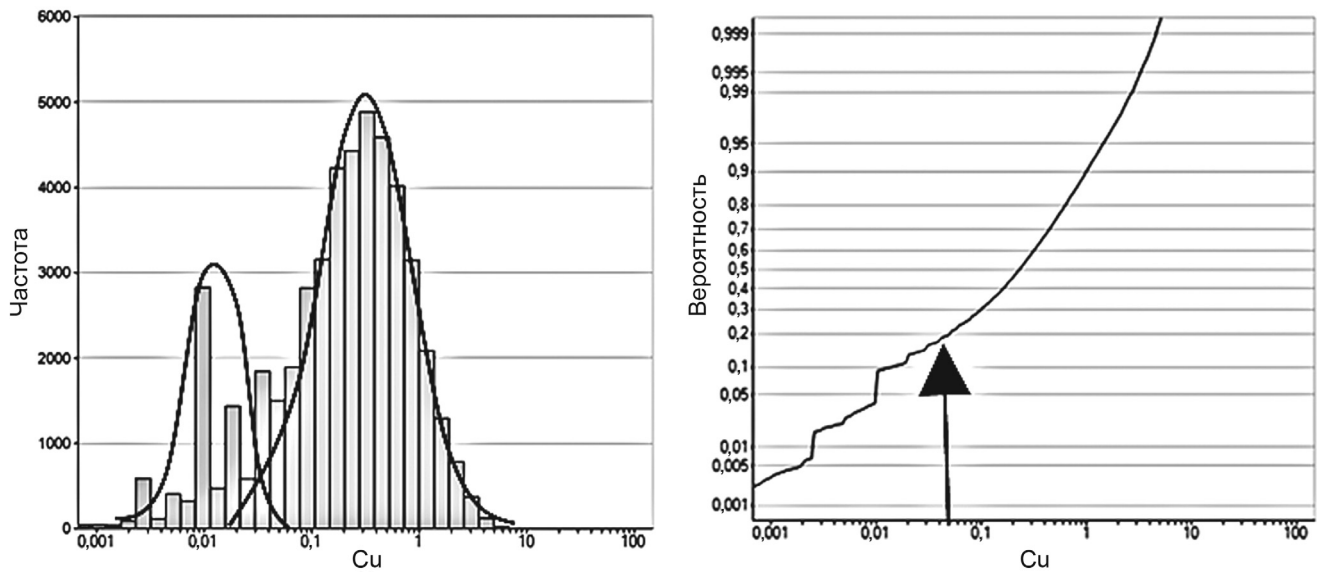


Рис. 1. Пример поиска «естественного» борта на лог-гистограмме содержания меди. На *A* под первой вершиной находятся значения содержания компонента в пробах, взятые вне зоны минерализации, а под второй вершиной — значения содержания компонента в пробах, взятых из зоны минерализации. Естественный борт находится между первой и второй вершинами. На *B* на кумулятивном вероятностном графике стрелкой указана отметка, после которой начинается плавное увеличение содержания меди

включении пустого прослоя мощностью до 15 м в минерализованную зону происходит уменьшение среднего содержания компонента на 0,041%, т.е. в этом случае напрасны опасения, что при включении пустых прослоев может происходить резкое снижение содержания компонента.

Однако когда в небольших по мощности жилах и прожилках содержится минерализация с высоким содержанием металлов, любое увеличение мощности зоны минерализации до размера, удов-

Таблица 1

Пример расчета, иллюстрирующий снижение содержания меди на меднопорфировых месторождениях Кальмакыр (1) и Ёшлик (2) (Узбекистан)

№ п/п	Максимальный пустой прослой, м	Сумма мощностей пере-сечений, м	Средневзвешенное содержание меди, %	Сумма, метро-процентов, м%
1	0		0,343	
2	15	490 857	0,302	148 416

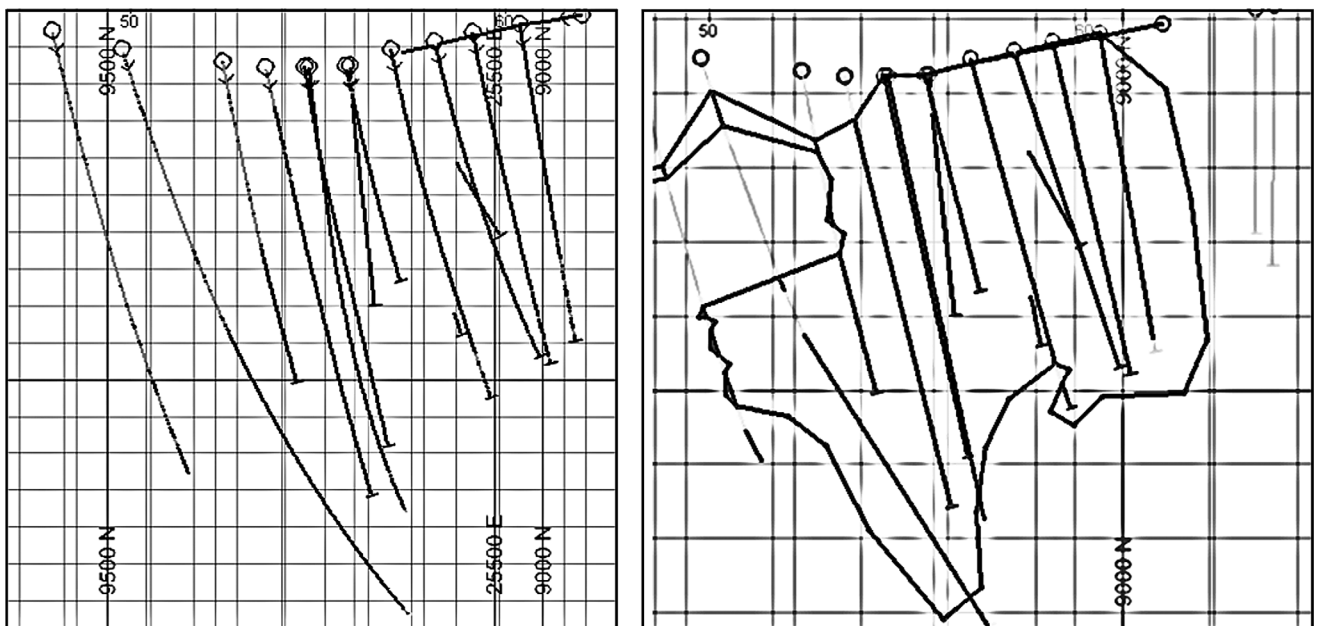


Рис. 2. Пример присоединения к интервалам минеральных концентраций ($Cu > 0,05\%$) пустых пород, не содержащих минерализацию ($Cu < 0,05\%$) с помощью перехода от содержания в пробах к содержанию в композитах, созданных при учете максимальной мощности пустого прослоя и минимальной мощности интервалов минерализации (15 м на меднопорфировом месторождении Аксуг, Россия). Интервалы и композиты с содержанием меди $> 0,05\%$ на разрезе показаны черным. Содержание меди по разрезу от проб к композитам снижается от 0,541 до 0,493%

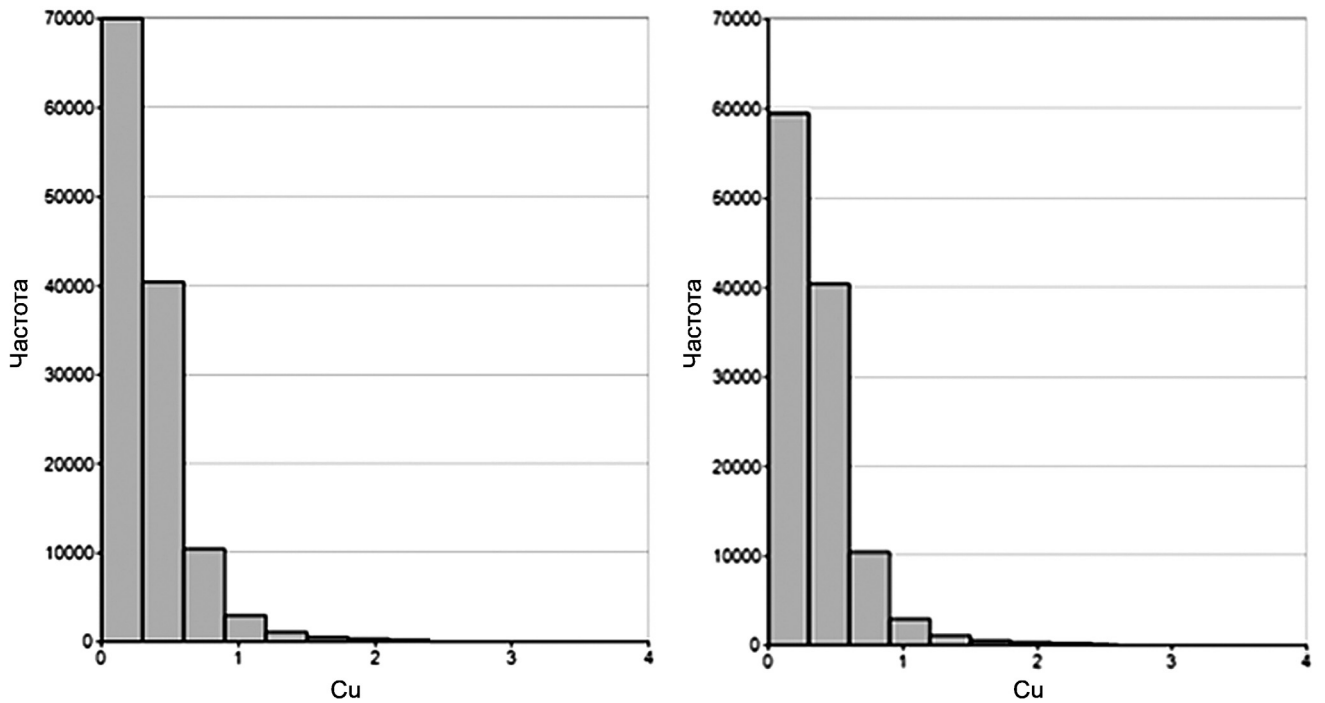


Рис. 3. Гистограммы распределения меди в выделенной зоне минерализации в левой части рисунка и в интервалах минерализации в правой части рисунка. Месторождение Аксуг (Россия)

летворяющего технологическим требованиям, и, наоборот, при присоединении к маломощным жилам пустых вмещающих пород приводит к резкому снижению содержания металлов (рис. 4, 5). Анализ рис. 4 и 5 показывает, что даже при небольшом искусственном увеличении зоны минерализации происходит резкое снижение содержания серебра более чем в 2 раза.

Чтобы получить представительные статистические данные, нужно создать равномерную разведочную сеть пунктов опробования. Любое избыточное создание пунктов опробования в участках с заранее предполагаемым повышенным содержанием компонента приведет к завышению оценки среднего содержания.

На практике очень часто предполагаемые богатые участки рудных тел разведываются большим числом скважин, чем остальные участки

месторождения. Если такой массив информации непосредственно использовать для интерполяции содержания компонента, то, скорее всего, придется столкнуться со смещением оценок компонента в эксплуатационных блоках в сторону их завышения на участках с большим числом проб. Во многих случаях корректнее проводить процедуру декластеризации. Декластеризация позволяет упорядочить разведочную сеть, сделать ее более равномерной с помощью выбора проб внутри заданного размера ячейки сети. Можно выбрать несколько способов декластеризации исходных данных [Капустин, 2007].

При первом способе из кластеров проб (или скважин) пробы (или скважины) удаляют из выборки (рис. 6).

При втором способе делается случайный выбор пробы внутри заданной ячейки сети (каждый

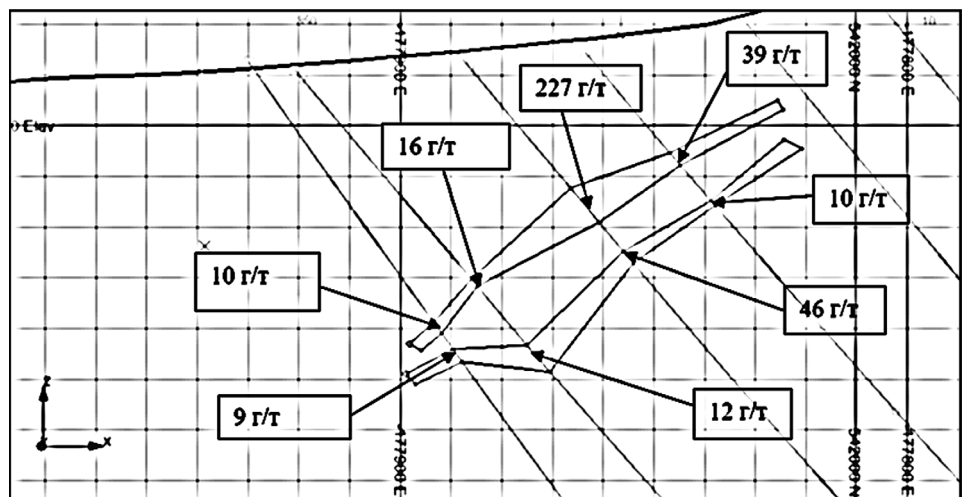


Рис. 4. Распределение содержания серебра в вертикальном разрезе в пробах нескольких скважин на месторождении Дукат (Россия)

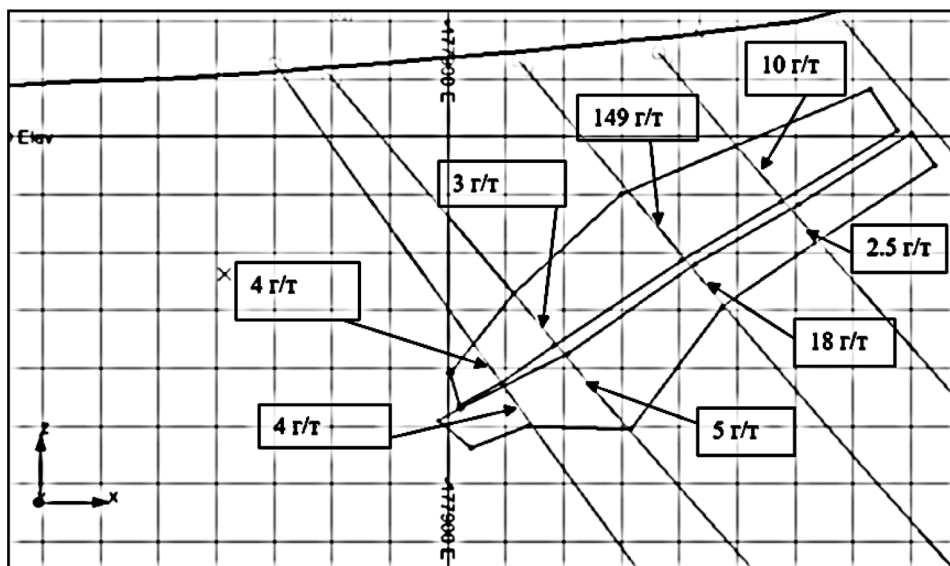


Рис. 5. Распределение содержания серебра в вертикальном разрезе в композитах нескольких скважин на месторождении Дукат (Россия)

раз новый). Можно сделать несколько вариантов разрежения данных и выбрать такой вариант, при котором получается минимальное содержание среднего значения компонента и других статистик. При третьем способе делается псевдослучайный выбор пробы внутри ячейки (выбор каждый раз повторяется).

При четвертом способе выбирается проба, ближайшая к центру ячейки (рис. 7). В этом случае частично происходит удаление проб или фрагментов скважин, особенно если скважины расположены рядом.

Выбирается не только проба внутри заданной ячейки, но и целиком скважина или некоторая ее часть. Однако если разведочная сеть создана вертикальными буровыми скважинами, декластеризация путем удаления скважин из кластера будет корrekтнее (рис. 6).

При пятом способе рассчитывается среднее из значений содержания компонента в пробах внутри ячейки.

Уменьшение среднего содержания компонента после процедуры декластеризации свидетельствует об оправданности применения одного из описанных способов.

Декластеризация позволяет также правильное оценить среднее содержание компонента, стандартное отклонение и коэффициент вариации. Декластеризация используется также непосредственно при интерполяции для оценки среднего содержания в блоковых моделях и выемочных единицах при помощи ограничения проб, методом октантов и путем ограничения числа композитов, участвующих в интерполяции, из одной скважины.

Перед интерполяцией обычно строят вариограммы. Расчет вариограммы строго справедлив только тогда, когда переменная стационарна, имеет нормальное распределение, а полученные данные аддитивны и известно, что является их «основанием». Геостатистический термин «основание» относится к размеру и форме единичной пробы и способу, которым ее отобрали (например, кернавая или шламовая проба). Среднеарифметическое значение содержания компонента для проб разного размера и при разных способах отбора даст ложную оценку истинного среднего в оцениваемом блоке. Однако это не всегда так. Например, в некоторых базах данных содержатся результаты опробования компонентов, полученные как по групповым, так и по рядовым пробам. На-

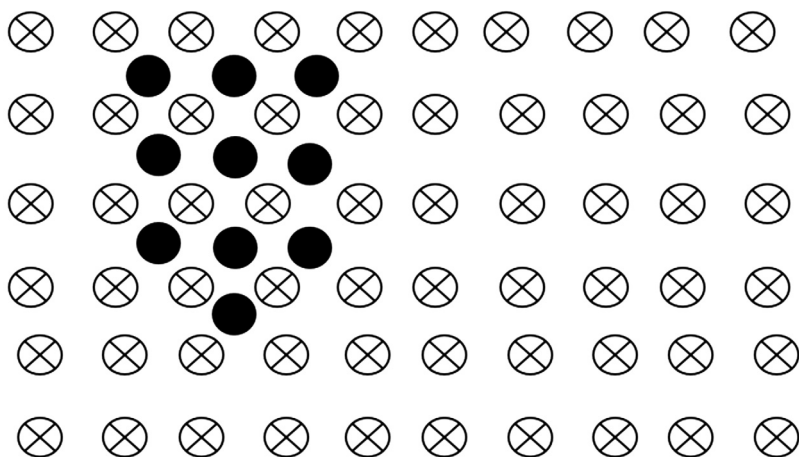


Рис. 6. Физическое удаление проб (скважин) из кластера. Скважины, показанные черными кружками, необходимо удалить из выборки, чтобы избавиться от кластера

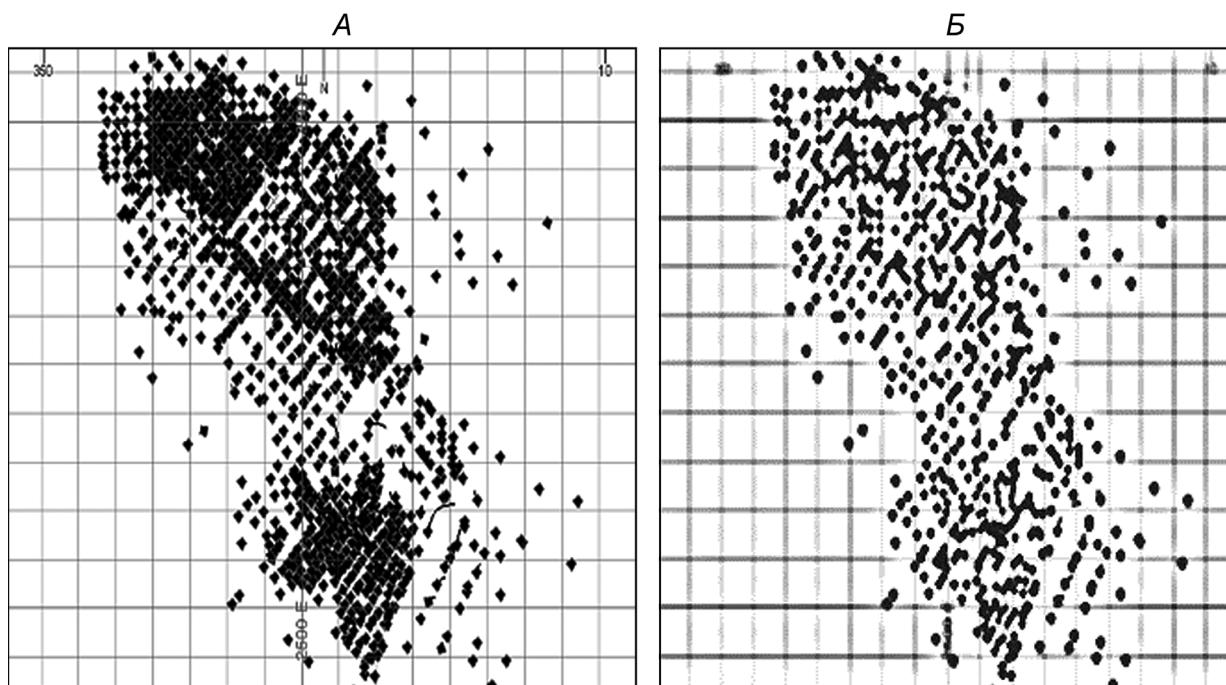


Рис. 7. Разведочная сеть до декластеризации (А) и после декластеризации (Б) с помощью метода выбора пробы, ближайшей к центру ячейки при выбранном размере ячейки сети 150×150 м на меднопорфировом месторождении Кальмакыр (Узбекистан)

пример, база данных месторождения Кальмакыр (Узбекистан) включает значения содержания золота, полученные как по групповым, так и по рядовым пробам. Из общей базы данных удалось сделать две достаточно достоверные выборки, которые содержат результаты опробования на золото групповых и рядовых проб. Затем был проведен квантильный анализ. Обе выборки были разделены на децили, значения которых по двум выборкам сравнивали на графике (рис. 8). На рис. 8 видно, что результаты анализа групповых проб имеют несколько заниженные значения по сравнению с результатами опробования рядовых проб.

Данные табл. 2 показывают, что результаты анализа рядовых проб характеризуются большим разбросом значений содержания золота, большим значением коэффициента вариации и более высоким средним содержанием золота по сравнению с результатами анализов групповых проб. Результаты анализов групповых проб на золото более сглажен-

ные относительно результатов анализов рядовых проб, но нет причин, чтобы их нельзя было использовать для интерполяционных процедур.

Значения содержания компонентов для геостатистических исследований должны быть получены от проб равной длины, имеющих близкую массу и из одной и той же лаборатории, исследованы одним и тем же методом и в одно и то же время. Эти обстоятельства позволяют получить однородные представительные выборки. Однако на практике длина проб часто бывает разной, поэтому и необходимо привести ее через математические преобразования к одной величине. Процесс вы-

Таблица 2

Сравнение статистических показателей по содержанию золота в выборках групповых и рядовых проб меднопорфирового месторождения Кальмакыр (Узбекистан)

Статистики	По групповым пробам	По рядовым пробам
Число проб	327	512
Минимум	0,1	0
Максимум	1,6	4,8
Среднее	0,645	0,725
Дисперсия	0,096	0,316
Стандартное отклонение	0,309	0,562
Коэффициент вариации	0,479	0,775

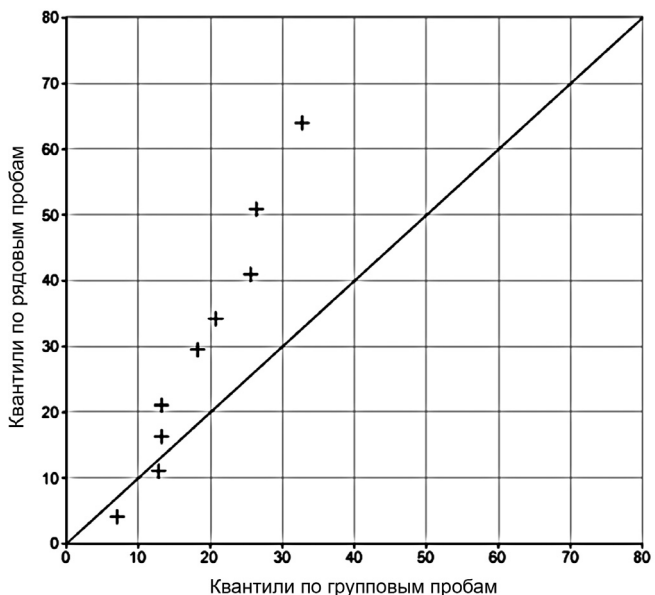


Рис. 8. График сравнения квантилей в групповых пробам и в рядовых пробам месторождения Кальмакыр (Узбекистан)

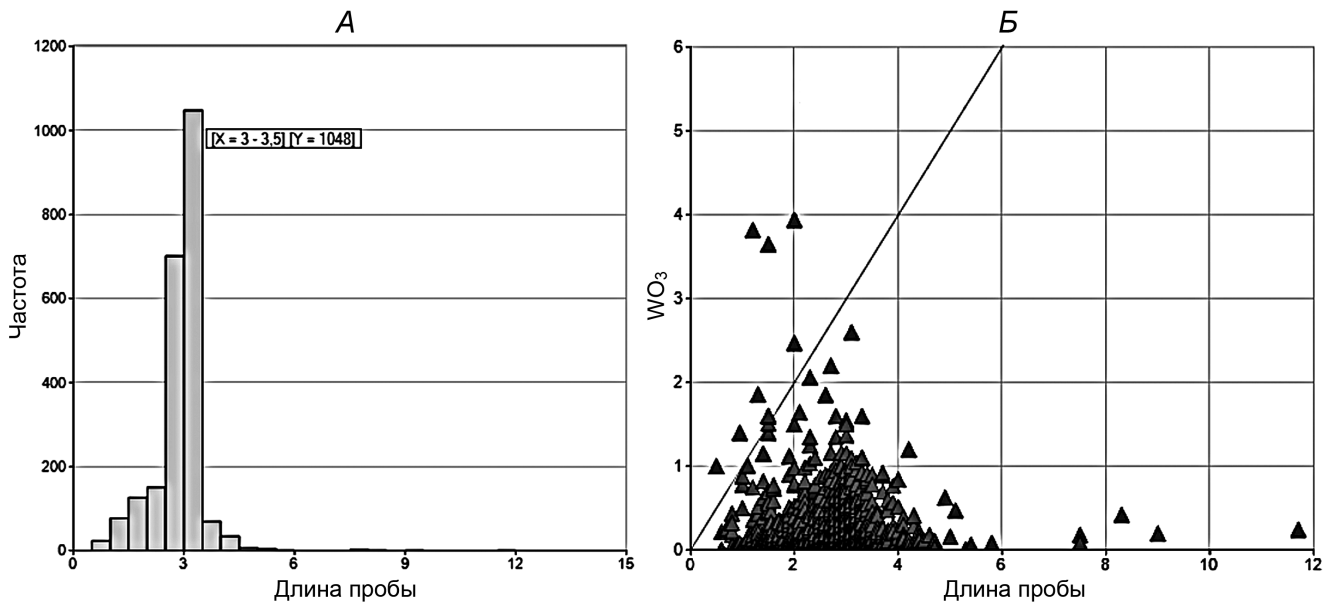


Рис. 9. Гистограмма распределения длин проб (А) и график влияния длины пробы на содержание компонента (Б). На Б отчетливо видно, что почти 50% от всех проб составляют пробы длиной 2,5–3,5 м. На Б видно, что для проб с низким содержанием компонента характерна длина проб >5 м, пробы длиной от 2 до 4 м — наиболее представительны

равнивания длины проб называют композитированием, а пробы — композитами. Для выбора единой длины проб строят гистограмму значений их длин и выбирают преобладающую длину (рис. 9).

Для анализа влияния длины пробы на содержание компонента строят точечный график «содержание — длина пробы». Пробы с низким содержанием часто имеют большую длину. Часто длину композита выбирают исходя из соображений относительно степени сглаживания, а не только ориентируясь на преобладающую длину. На практике установлено, что количество композитов должно быть 4–6 на высоту блока. Часто высоту блока устанавливают по высоте уступа карьера при открытой отработке. Например, если размер уступа карьера небольшой, не больше 5 м, а размер пробы равен 1 м, то композит можно выбрать по размеру пробы. Если размер уступа карьера, например, равен 15 м и при той же длине пробы, то размер композита может быть выбран равным 3 или 4 м. Выбор маленького или большого размера для композитов может приводить к занижению оценки содержания компонента в блоковой модели.

В целом можно проанализировать динамику уменьшения среднего содержания компонента при каждой операции от моделирования контуров на вертикальных разрезах минерализованных зон, создания их каркасных моделей, декластеризации до интерполяции компонента в блоковых моделях минерализованных зон. В табл. 3 показаны расхождения между средним значением содержания меди в пробах, расположенных внутри каркасов минерализованных зон месторождений Кальмакыр и Ёшлик 1, и средними значениями интерполированного содержания меди в блоковых моделях этих минерализованных зон.

Анализ этих изменений содержания компонента при каждой операции показывает, что уменьшение его среднего значения из-за внутреннего разубоживания, неточности интерполяции и, возможно, чрезмерного сглаживания произошло на 0,05%.

Полезные компоненты, которые занимают большую долю в рудной массе, например, железо, часто имеют отрицательное асимметричное распределение, т.е. большинство проб имеет высокую концентрацию и небольшое число ее низких значений. Драгоценные металлы и металлы с содержаниями <1%, наоборот, занимают мизерную долю в рудной массе и имеют в основном положительную асимметрию при распределении (большинство проб имеет низкое содержание компонентов и небольшое число экстремально

Таблица 3

Пример снижения значений содержания компонента от значений содержания в пробах к значениям содержания в блоках

Участок	Среднее содержание компонента в пробах	Среднее содержание компонента в модели	Разница в содержаниях компонента
Месторождение Кальмакыр			
Малый Кальмакыр	0,32	0,273	0,05
Большой Кальмакыр			
Акчеку			
Джанибек			
Месторождение Ёшлик 1			
Балыкты	0,279	0,270	0,01
Центральный			
Карабулак			

высоких их значений). Металлы с содержанием от умеренного до высокого (в диапазоне 7,5–15%) не имеют доминирующей асимметрии.

Наиболее достоверные и надежные результаты интерполяции получаются только тогда, когда зона минерализации стационарная или однородная, т.е. среднее и стандартное отклонение компонента постоянны (допускается небольшой дрейф среднего содержания) и распределение компонента строго подчиняется нормальному закону распределения, т.е. его форма колоколообразная и строго симметричная.

До построения вариограмм необходимо сделать некоторые преобразования данных в выборке, что позволит привести данные к относительно симметричному (нормальному) распределению. Существует несколько часто используемых способов преобразований:

- логарифмирование (трансформация данных происходит через натуральные логарифмы);
- приведение данных к нормально распределенным методом анаморфозы;
- приведение данных к нормально распределенным методом многочленов Эрмита (методом полиномиальной аппроксимации Эрмита);
- приведение данных к нормально распределенным с помощью стандартизации;
- приведение данных к логнормально распределенным методом коррекции экстремальных значений.

Когда изучаемые данные распределены симметрично, колоколообразно, то исходные данные в выборке перед построением вариограмм оставляют без преобразований.

Большое значение для принятия решения о преобразовании данных играет коэффициент вариации

$$V_S = S/\chi,$$

где S — стандартное отклонение, χ — среднее.

Экстремальные (ураганные) значения содержания компонента при расчете среднего содержания компонента вызывают смещение оценки в сторону ее завышения. В табл. 4 демонстрируется, как максимальное содержание влияет на оценку среднего, стандартного отклонения и коэффициента вариации. Анализ табл. 4 показывает, что коэффициент вариации больше у набора данных с большим экстремальным значением.

В разведочных данных, в которых коэффициент вариации $>1,2$, экстремальные значения содержания уже значительно влияют на смещение оценки среднего. Если коэффициент вариации $<1,2$, то это означает, что экстремальные значения в данных мало влияют на смещение оценок, хотя распределение компонента может и не быть нормальным.

Обсуждение способов нейтрализации экстремальных значений в выборочных данных. Если

коэффициент вариации меньше 1,2, то перед вариограммным анализом используют такие способы преобразования данных, как стандартизацию, метод анаморфозы и метод многочленов Эрмита. Эти преобразования помогают конвертировать исходные данные в набор данных с нормальным распределением. На практике часто используют метод анаморфозы. Это такой тип временных преобразований, когда из выборки удаляют пробы с экстремально большим содержанием и пробы с низким содержанием, т.е. распределение искусственно приводят к симметричному виду, насколько это возможно (рис. 10).

Таблица 4

Влияние максимальных (экстремальных) значений содержания компонента на статистические оценки

Номер пробы	Наборы данных				
	1	2	3	4	5
1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
3	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
4	1	1	1	1	1
5	2	2	2	2	2
6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
7	3	3	3	3	3
8	3	3	3	3	3
9	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
10	8	16	32	60	120
Среднее	2,57	3,37	4,97	7,77	13,77
Стандартное отклонение	2,16	4,55	9,55	18,38	37,34
Коэффициент вариации	0,84	1,35	1,92	2,37	2,71

После преобразования вариограмма строится по композитированным данным, не подвергшимся логарифмированию. Далее расчеты оценок компонента в эксплуатационных блоках выполняют также без логарифмического преобразования данных, но перед интерполяцией все удаленные значения обычно возвращают в выборку, и значения снова пересчитывают в композиты, так как при таком низком коэффициенте вариации экстремальные значения содержания компонента не влияют на оценку среднего в блоке.

Если коэффициент вариации $>1,2$, это указывает на то, что оценка истинного среднего (математического ожидания) по выборке может сильно зависеть от экстремальных значений содержания компонента в пробах этой выборки.

Что нужно делать, чтобы получить представительные оценки (статистики) при работе с асимметричными данными? Один из путей борьбы с экстремальными значениями содержания заключается в трансформации данных через натуральные логарифмы, когда каждое выборочное содержание

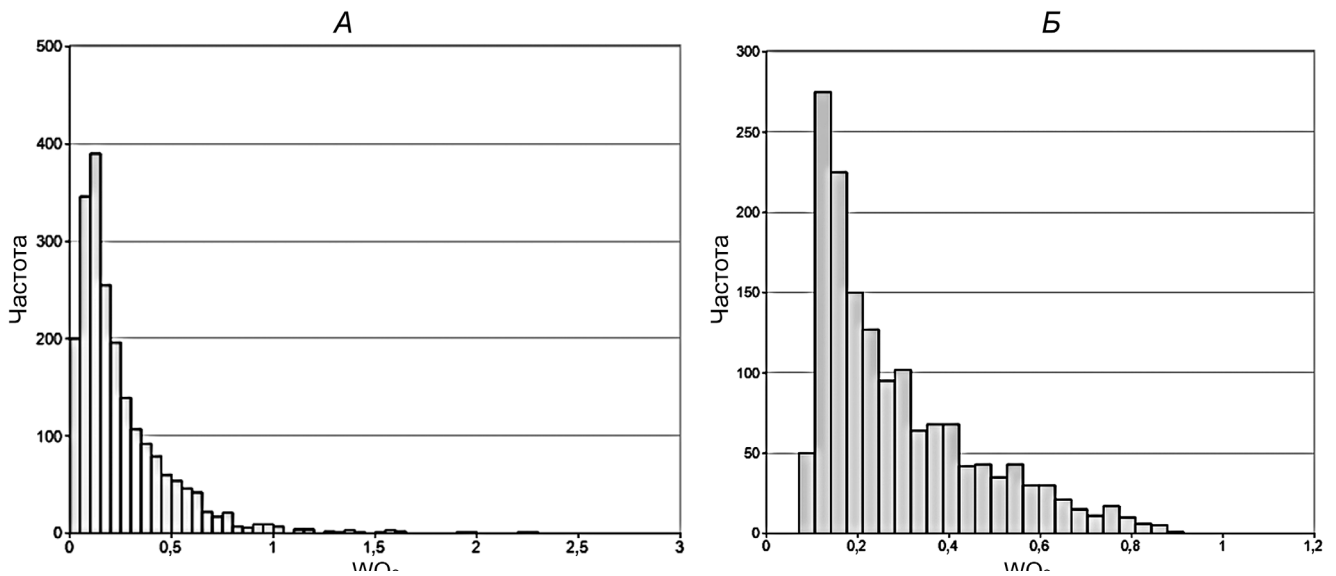


Рис. 10. Пример преобразования первоначально асимметрично распределенных данных к более симметричному виду (из выборки удалены экстремальные значения содержания и частично удалены пробы с низким содержанием). На *А* приведена гистограмма распределения компонента до преобразований, на *Б* — после преобразований

компонента в пробе преобразуется в натуральный логарифм.

Если гистограмма в логарифмической шкале данных имеет колоколообразную форму (Белл-форму) и на вероятностном кумулятивном графике она выглядит прямой, то данные распределены логнормально.

Преобразование в натуральные логарифмы производит эффект сжатия рангов высоких значений содержания компонента и расширения рангов низких значений, если данные распределены логнормально. После преобразования на средние арифметические логпреобразованных данных оригинальные экстремальные содержания не оказывают влияния, так как эти экстремальные значения сглаживаются логнатуральной трансформацией. Эти логарифмированные средние содержания путем обратной трансформации могут быть приведены к обычным значениям содержания, если взять экспоненту логарифма среднего. Если логарифмически преобразованные данные имеют нормальное распределение, то среднее, мода, медиана при абсолютной симметрии совпадут, а в другом случае они будут близки. Это значит, что среднее логарифмически преобразованных данных и их медиана эквивалентны, а если это так, то среднее логарифмических данных делит выборку данных пополам (как и медиана) и, таким образом, логарифмическое среднее данных можно использовать в качестве 50%-ного перцентиля. Когда логарифмическое среднее преобразуется обратно, то полученное значение является еще и эквивалентом медианы оригинальных данных. Известно, что значение медианы всегда меньше, чем представительное (несмещенное) среднее. Это представительное среднее содержание может быть рассчитано умножением обратно трансфор-

мированного логарифмического среднего на обратно трансформированное значение логарифма дисперсии, деленной на 2 (рис. 11). Полученную величину называют логоценным средним, или средним Сичела, она рассчитывается по формуле

$$\text{Логоценное среднее} = \text{Exp}(\text{логсреднее}) \times (\text{Exp}(\text{логдисперсия}/2)).$$

Если множество данных имеет высокую дисперсию логарифмированных значений, то эти данные очень асимметричны и разница между медианой и несмещенным средним очень большая. Если множество данных имеет низкую дисперсию логарифмированных значений содержания компонента, то эти данные более симметричны и разница между медианой и несмещенным средним небольшая. Это несмещенное среднее Сичела получается, как лучшая несмещенная оценка истинного среднего (математического ожидания), когда рассматриваемые данные имеют логнормальное распределение и когда коэффициент вариации $>1,2$. Когда асимметричность данных очень большая, то логдисперсия зависит от асимметричности данных в логарифмической шкале и, следовательно, не является представительной, тогда среднее Сичела может оказаться смещенным. Когда выборка данных маленькая, логдисперсия может быть чувствительна к экстремальным значениям содержания. Чтобы учесть возможные смещения из-за небольшого числа проб Сичел создал таблицу преобразований для использования в оценке среднего (табл. 5). Среднее Сичела рассчитывается умножением обратно трансформированного логсреднего ($\text{Exp}(\text{логсреднее})$) на множитель Сичела, который берется из таблицы в соответствии с рассчитанной логдисперсией и числом проб с значе-

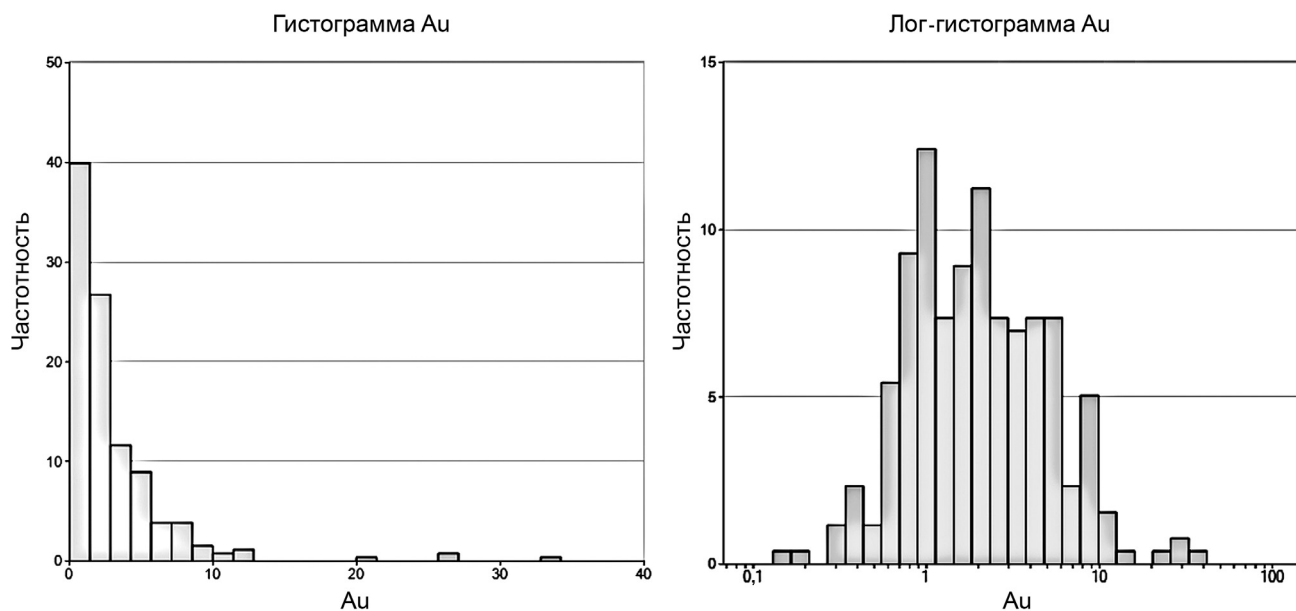


Рис. 11. Пример обратного трансформирования логсреднего, масштабируемого на обратно трансформированную половину логдисперсии: 0,676 (среднее логарифмов) — 1,966 (экспонента среднего логарифмов); $0,854/2=0,427$ — логдисперсия, деленная на 2; 1,532 — экспонента (логдисперсия/2). Логоценное среднее = экспонента среднего логарифмов \times экспонента (логдисперсия/2); $3,015=1,966 \cdot 1,523$ (3,015 — логоценное среднее, или среднее Сичела)

ниями содержания компонента, участвующими в расчете логдисперсии.

Логоценное среднее, или среднее Сичела, рассматривается как более точная несмещенная оценка математического ожидания, чем расчет среднеарифметического содержания.

Другой путь борьбы с экстремальными значениями содержания компонента, когда коэффи-

циент вариации $>1,2$, предлагает корректировать экстремальные значения. Корректировка экстремальных значений заключается в том, что любые значения содержания в композитах выше уровня коррекции должны быть снижены до этого уровня. Например, для набора № 3 (табл. 4), если уровень коррекции равен 20, то содержание в пробе, равное 32, должно быть снижено до 20. Это гарантирует,

Таблица 5

Значения коэффициента Сичела

Логдисперсия	Число проб											
	3	5	7	10	15	20	25	30	50	70	100	>100
0,1	1,051	1,051	1,051	1,051	1,051	1,051	1,051	1,051	1,051	1,051	1,051	1,05
0,2	1,103	1,103	1,104	1,104	1,104	1,105	1,105	1,105	1,105	1,105	1,105	1,10
0,3	1,158	1,158	1,159	1,159	1,160	1,161	1,161	1,161	1,161	1,161	1,162	1,10
0,4	1,210	1,214	1,215	1,217	1,218	1,219	1,220	1,220	1,220	1,221	1,221	1,22
0,5	1,268	1,272	1,275	1,277	1,278	1,280	1,281	1,282	1,282	1,283	1,283	1,28
0,6	1,323	1,332	1,336	1,339	1,343	1,344	1,345	1,346	1,348	1,348	1,349	1,35
0,7	1,382	1,393	1,399	1,404	1,409	1,411	1,413	1,414	1,416	1,416	1,417	1,41
0,8	1,442	1,457	1,465	1,472	1,478	1,481	1,483	1,484	1,487	1,489	1,490	1,49
0,9	1,503	1,523	1,533	1,542	1,550	1,554	1,557	1,560	1,562	1,564	1,565	1,56
1,0	1,566	1,591	1,604	1,615	1,625	1,630	1,634	1,636	1,641	1,643	1,645	1,64
1,1	1,630	1,681	1,677	1,691	1,703	1,710	1,714	1,717	1,723	1,726	1,728	1,73
1,2	1,696	1,733	1,758	1,770	1,785	1,793	1,798	1,802	1,810	1,813	1,816	1,82
1,3	1,784	1,807	1,833	1,851	1,870	1,880	1,886	1,891	1,900	1,905	1,906	1,91
1,4	1,832	1,884	1,912	1,937	1,958	1,971	1,978	1,984	1,995	1,997	2,004	2,01
1,5	1,906	1,963	1,986	2,025	2,051	2,085	2,075	2081	2,085	2,095	2,105	2,11
1,6	1,976	2,044	2,082	2,117	2,147	2,184	2,175	2,183	2,198	2,204	2,212	2,22
1,7	2,049	2,128	2,172	2,212	2,247	2,287	2,290	2,299	2,308	2,315	2,323	2,34
1,8	2,124	2,214	2,285	2,310	2,352	2,375	2,390	2,400	2,422	2,431	2,440	2,46
1,9	2,203	2,303	2,361	2,413	2,450	2,487	2,504	2,517	2,542	2,552	2,563	2,58
2,0	2,280	2,335	2,400	2,519	2,574	2,604	2,624	2,638	2,668	2,679	2,692	2,71
2,1	2,300	2,489	2,563	2,630	2,691	2,726	2,740	2,765	2,800	2,815	2,827	2,85

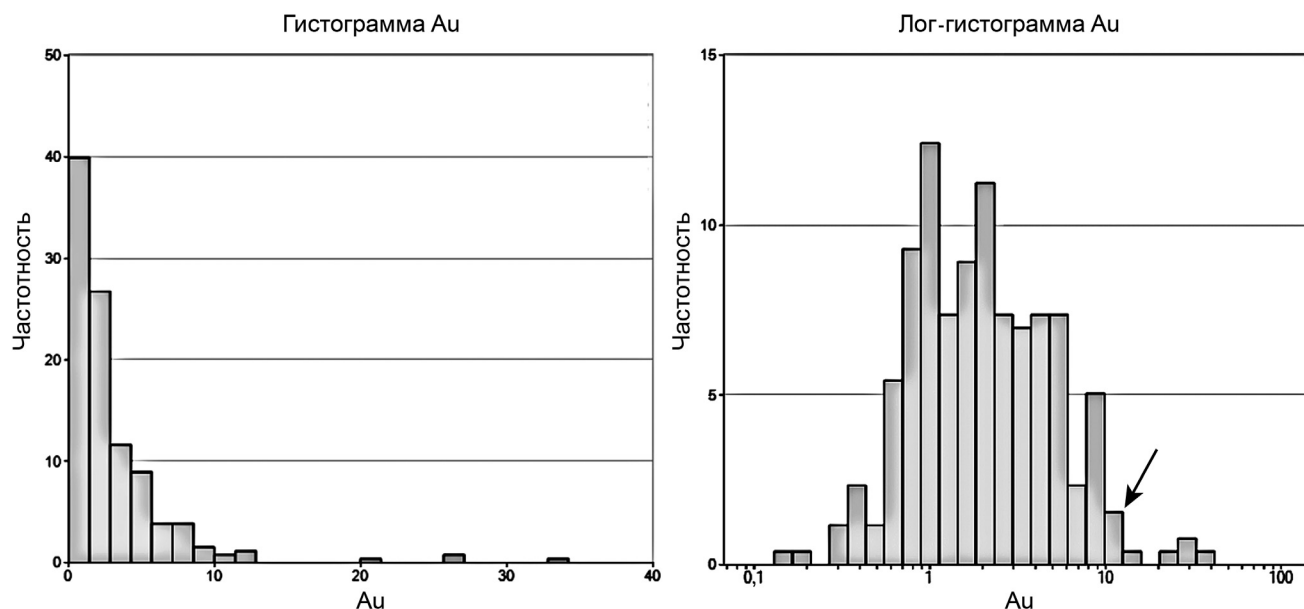


Рис. 12. Иллюстрация метода дезинтеграции для определения уровня коррекции экстремальных значений содержания золота в пробах (уровень коррекции показан стрелкой)

что пробы с высокими значениями содержания компонента будут включены в последующий анализ, но их экстремальность не будет негативно влиять на расчет и анализ вариограмм и при интерполяции не повлияет на смещение оценки среднего и оценку других параметров.

Для логнормальных данных при выборе уровня коррекции экстремальных значений в пробах ориентируются на логочисленное среднее Сичела [Coombes, 2005], т.е. итерационным путем проводят коррекцию экстремальных значений содержания компонента до того уровня коррекции, при котором среднее становится близким к логочисленному среднему у исходных данных. Если данные не логнормальные, то уровень коррекции обычно находят методом дезинтеграции хвостовой части высоких значений содержания компонента на гистограмме логарифмированных данных, и все значения содержания компонента, находящиеся в хвостовой части распределения выше этого уровня, снижают до этого уровня (рис. 12).

Если коэффициент вариации очень большой, например >3 , то первоначально выборку стараются разбить на однородные области (домены), если это не удастся, т.е. экстремальные значения содержания разбросаны внутри домена, то перед построением вариограмм и интерполяций используют индикаторную технику преобразования

данных в выборке. Индикаторную технику интерполяции используют только после того, как убедятся, что при проверке результатов интерполяции обыкновенным кригингом или методом обратных расстояний были выявлены значительные расхождения при сравнении результатов опробования и значений содержания компонента в блоках после интерполяции, т.е. когда экстремальные значения значительно повлияли на оценку в блоках, расположенных рядом с экстремальными значениями содержания компонента в пробах.

Заключение. Анализ моделирования зон минерализации штокверковых месторождений свидетельствует о том, что включение в зону минерализации прослоев пустых пород, расположенных среди минерализованных участков, мало влияет на смещение оценок в сторону снижения содержания и, наоборот, значительно влияют в сторону завышения оценок экстремальные значения содержания компонента. В случае наличия в выборке экстремальных значений содержания компонента коэффициент вариации можно использовать как ориентир для принятия решения о необходимости проведения разных способов преобразования результатов опробования, но нет математически обоснованных доказательств, что эти действия приводят к корректным оценкам истинных параметров минерализованной залежи или ее участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Капустин Ю.Е. Моделирование месторождений и оценка ресурсов с использованием Студии 3: Учебный курс. СПб.: Недра, 2007.

Coombes J. The art and science of resource estimation. Western Australia, Post Office Box, 2008.

Поступила в редакцию 04.03.2020

Поступила с доработки 30.06.2020

Принята к публикации 30.06.2020