УДК 553.492.1+681.3.06

А.В.КОСТЯХИНА
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА РАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ (на примере месторождений бокситов)

Точность оконтуривания рудных тел и подсчета запасов повышается, когда интерполяция и экстраполяция данных опробования выполняются не формально, а с учетом геологических закономерностей распределения содержаний. При моделировании месторождений методы статистического анализа в программном пакете Micromine обеспечивают проверку генетической однородности выборки. Сравнительное исследование проведено для бокситовых залежей Среднего Тимана (палеозой) и Гвинеи (современное бокситообразование). В обоих случаях на графиках распределения содержаний Al_2O_3 выделяются три точки отклонения от расчетной кривой: 24 %; около 35 % и около 56 %. Первая из них (24 %) интерпретируется как рубеж между фоновым содержанием Al_2O_3 в породах субстрата и его превышением с началом формирования высокоглиноземистых минералов. Генетическая природа выборки 24-35 % Al_2O_3 подтверждается и радикальным изменением кремневого модуля пород ($M_{Si} = Al_2O_3/SiO_2$). Вторая точка (32-36 % Al_2O_3) фиксирует появление гиббсита в уже каолинизированных породах; верхний рубеж аномальных значений выборки (56 % Al_2O_3) обусловлен развитием гиббсита при дальнейшем латеритном выветривании. Бимодальное распределение содержаний Al_2O_3 в тиманских бокситах отражает осложнение их первично-латеритного генезиса процессами переотложения и последующей ресиликации.

Precision of contouring the ore bodies and calculation of their reserves increases when interpolation and extrapolation of the sampling data are executed not formally, but with allowance of geologic regularities in distribution of the contents. Statistical analysis block of the Micromine software provides an improvement of genetic homogeneity of sampling data, while the modeling of ore fields, also. The comparative analysis was carried out for bauxite fields of Middle Timan (Paleozoic) and Guinea (contemporary bauxite-forming). In both cases, plots of the content distribution show three certain points deviating from a design curve: 24 %; near 35 % and about 56 % Al_2O_3. Among them, the first one (24 %) is interpreted as a boundary between the background Al_2O_3 contents in the host rocks, and its overflow due to beginning of forming of the high-aluminum minerals. Its genetic nature is confirmed also by radical increase of the silicon modulus ($M_{Si} = Al_2O_3/SiO_2$). The second point (32-36 % Al_2O_3) fixes appearance of gibbsite in already kaolinized rocks; the higher range of abnormal contents (above 56 % Al_2O_3) was conditioned by progressing development of gibbsite due to the further laterite weathering. The bimodal distribution of the Al_2O_3 contents in the Timan bauxites reflects a complication of their primary laterite genesis by some redeposition processes and a consequent resilication.

Все методы подсчета запасов полезных ископаемых базируются на данных, получаемых в процессе разведки месторождений. Эти данные дискретны и не дают исследователю полного представления о пространственном распределении тех или иных параметров оруденения. Важнейшей процедурой при пространственном моделировании оруденения, которое отображается в виде геологических планов, разрезов, блок-диаграмм, а в последнее время и компьютерных моделей, является процесс интерполяции и экстраполяции данных опробования. Эти процедуры могут осуществляться формально, но наилучшие результаты, определяющие в итоге точность оконтуривания рудных тел и подсчета запасов, реализуются при использовании выявленных в результате геологического изучения закономерностей пространственного рас-

пределения оруденения. Эти закономерности могут иметь сингенетический и эпигенетический характер.

Сингенетические закономерности проявляются в первичной зональности рудных тел, формируемой процессами рудогенеза. Эпигенетические закономерности могут определяться наложенными на первичные рудные тела процессами, например: проявлением пострудной тектоники, гипергенеза (выветривания руд) и т.п. Поскольку при построении объемной модели конкретного объекта далеко не всегда ясен механизм рудообразования, генетическую однородность выборки, используемой для моделирования, можно проверить методами статистического анализа. Большой объем данных, получаемых в процессе разведки месторождений, также открывает широкие возможности для использования статистического анализа. Совместное применение геолого-генетического моделирования и статистического анализа разведочных данных позволяет поэтапно приближаться к оптимальной модели формирования месторождения, которая становится основой подсчета запасов – процедуры, завершающей разведочный цикл.

В настоящей работе статистический анализ результатов опробования, полученных при разведке месторождений бокситов разного возраста, направлен на выявление генетической природы граничных параметров, используемых для оконтуривания рудных тел. Анализ проводится с помощью статистического блока, встроенного в программном пакете Micromine, по данным опробования бокситовых месторождений Среднего Тимана (палеозой) и Гвинеи (современное бокситообразование).

Бокситы представляют собой полезное ископаемое, генезис которого обусловлен процессами латеритного выветривания. Поскольку они могут формироваться за счет почти любых первичных пород, исключая чистые кварцевые песчаники и железистые кварциты, месторождения бокситов можно отнести к группе формирующихся при выветривании субстратов с нормальными геохимическими концентрациями полезного компонента. Среднее содержание алюминия в земной коре составляет 8,1 %; нижний предел содержания глинозема в промышленных бокситах коры выветривания 45 % (23,8 % алюминия) [4].

Как объект исследований выбран один из участков Вежаю-Ворыквинского месторождения, на котором проведена детальная разведка, но из-за отсутствия четких критериев для выбора граничных параметров не решена проблема оконтуривания рудной залежи в его пределах. Основой для исследования послужила база данных кернового опробования разведочных скважин.

С использованием статистического программного пакета был проведен анализ распределения проб по классам содержания основного компонента бокситов – глинозема. На гистограммах по оси абсцисс откладывали значения содержания Al_2O_3 в составе породы $C_{Al_2O_3}$, по оси ординат – количество проб n с соответствующим содержанием компонента в процентах от общего числа проб, входящих в выборку, и отстраивались графики вероятности распределения компонента. В целом, статистическим анализом базы разведочных данных по участку Вежаю-Ворыквинского месторождения были получены следующие результаты.

На гистограмме распределения содержаний Al_2O_3 (рис.1, *а*) отчетливо выделяется бимодальное распределение, что говорит о неоднородности общей выборки керновых проб. Причиной может быть как наличие двух разнородных групп данных опробования в базе, так и возможная потеря части информации из-за недостаточно представительного опробования керна скважин. Формирование геостатистических моделей требует выделения относительно однородных выборок проб в общей базе разведочных данных.

На графике накопленной вероятности распределения (рис.1, *б*) выделяется три точки существенного отклонения реальных значений (линия 1) от расчетной зависимости (линия 2), соответствующих содержаниям 24; 36 и 57 % Al_2O_3. Первая точка может интерпретироваться как уровень перехода от фоновых концентраций Al_2O_3 к повышенным (аномальным) значениям в связи с

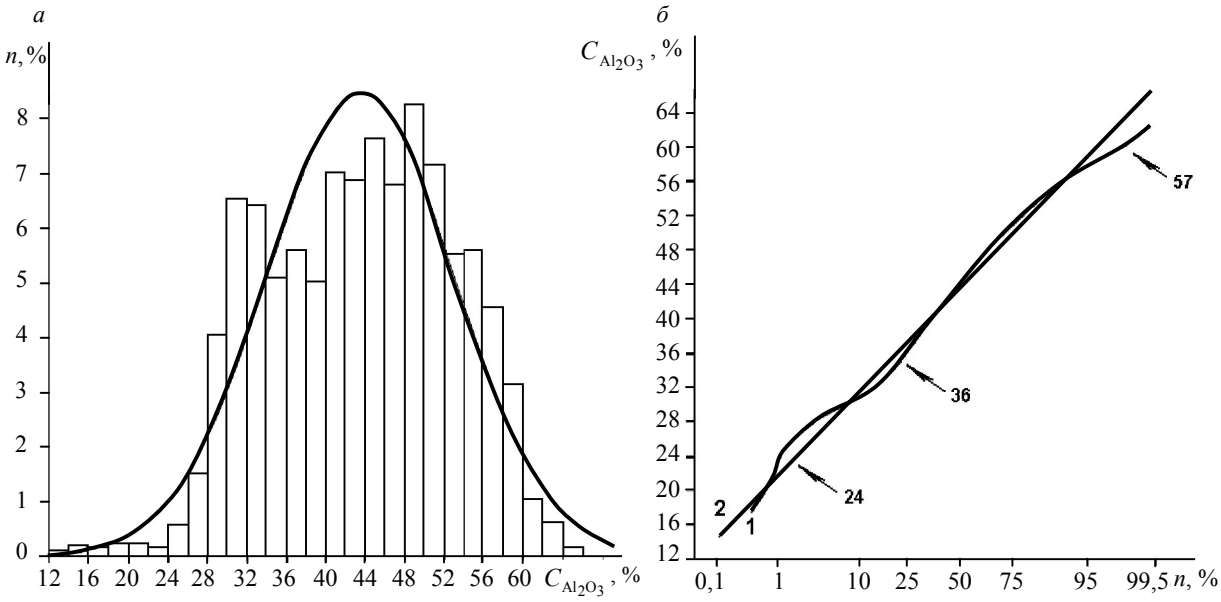


Рис.1. Результаты статистического анализа данных по участку Вежаю-Ворыквинского месторождения: *а* – гистограмма частот и расчетная кривая нормального закона распределения содержаний Al_2O_3; *б* – график накопленной вероятности распределения содержаний глинозема (1) и линия расчетной вероятности распределения Al_2O_3 (2)

появлением в породах субстрата высокоглиноземистых минералов.

Для уточнения граничных содержаний, соответствующих переходу от фоновых значений к аномальным, и выяснения вещественной природы этой границы была проведена дополнительная статистическая обработка данных по каждому интервалу содержаний Al_2O_3 с определением кремневого модуля ($M_{Si} = Al_2O_3/SiO_2$) в каждой однородной выборке. Получено следующее распределение M_{Si}:

$C_{Al_2O_3}$, %	24-36	36-57
M_{Si}	1,15	4,5

Следовательно, перегиб в точке при $C_{Al_2O_3} = 36\ \%$ действительно соответствует вещественному переходу от аллитов ($M_{Si} < 2$) к бокситам ($M_{Si} \geq 2$) [1].

Этот результат дает основание выделять при статистическом анализе в базе разведочных данных по рассматриваемому участку две разнородные популяции в общем распределении содержаний глинозема. Для выяснения геологической природы установленного граничного параметра следует обратиться к анализу условий образования бокситов данного месторождения. По существующим представлениям, бокситы Среднего Тимана залегают в основании платформенного чехла. Вмещающая их толща расположена почти горизонтально на закарстованной поверхности дислоцированных карбонатных пород быстринской свиты рифея и с размывом перекрывается эффузивно-осадочными образованиями девона и четвертичной системы [3].

В литературных источниках [2, 3] отмечается, что бокситоносная формация Среднего Тимана сложена продуктами латеритного выветривания разнообразных по составу и происхождению пород, грубообломочными делювиально-коллювиальными (карстовыми) образованиями и продуктами локального переотложения материала латеритных кор выветривания. Особенности бокситообразования рассматриваемой залежи можно оценить ее сопоставлением с кайнозойскими месторождениями бокситов, для которых доказана приуроченность к латеритным корам выветривания. Как объект

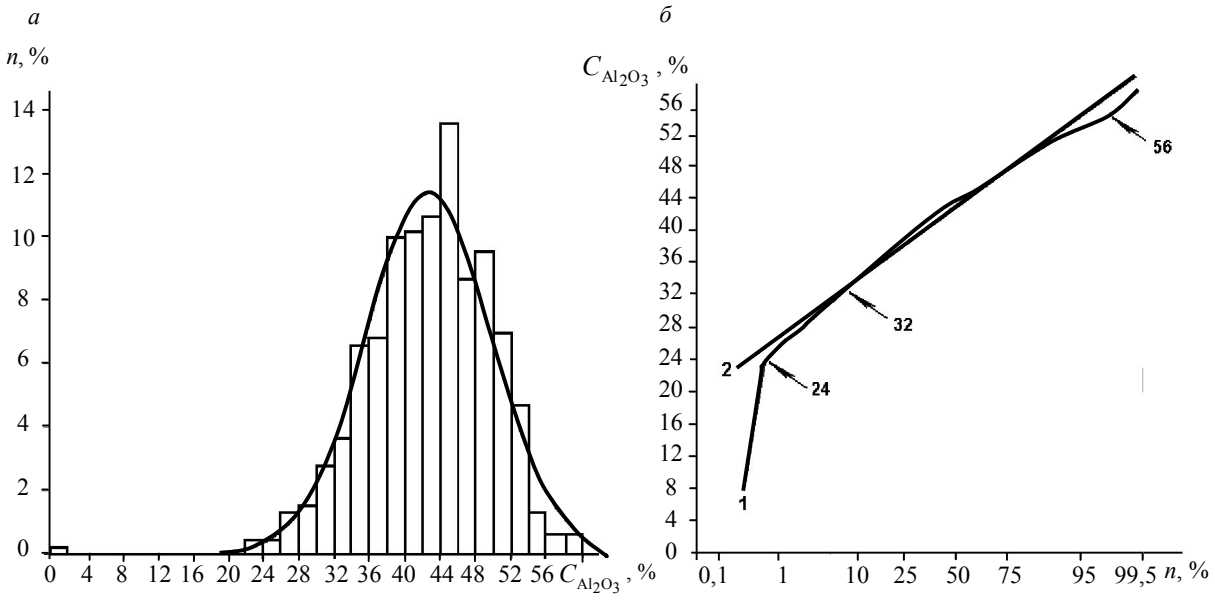


Рис.2. Результаты статистического анализа данных на Гвинейском месторождении Балая
Усл. обозначения см. рис.1

сравнения, принято месторождение Балая (Гвинея), бокситы которого связаны с современными латеритными корами и практически не затронуты вторичными изменениями. С высокой долей уверенности можно полагать, что закономерности распределения содержаний глинозема в этом случае обусловлены только геохимической зональностью, отражающей особенности поведения породообразующих элементов в латеритном профиле выветривания.

Статистический анализ разведочных данных по месторождению Балая подтверждает сделанное выше предположение. Гистограмма распределения содержаний Al_2O_3 (рис.2, *а*) в его бокситах хорошо согласуется с расчетной кривой нормального распределения. На графике накопленной вероятности распределения (рис.2, *б*) выделяются три точки существенного отклонения реальной зависимости (линия 1) от расчетной кривой (линия 2): 24; 32 и 56 % Al_2O_3.

В целом, в обоих случаях и графики статистического анализа, и полученные значения граничных параметров близки, из чего можно заключить, что и бокситы Среднего Тимана связаны с латеритной корой выветривания. Граница перехода от фоновых содержаний Al_2O_3 к его повышенным (аномальным) значениям по обоим месторождениям совпадает (24 %), что позволяет предположить, что она соответствует началу процесса латеритизации, когда в исходных породах субстрата появляются новообразования (каолинит) с повышением концентрации глинозема. На месторождении Балая, где формирование бокситов обусловлено единым процессом латеритизации, следующий рубеж – 32 % Al_2O_3 соответствует, видимо, переходу к формированию гиббсита в начальных латеритах – практически полностью каолинизированных породах (теоретическое содержание Al_2O_3 в каолините 41,2 %, в гиббсите 65,35 %). Верхний рубеж аномальных значений выборки – 56 % Al_2O_3 возникает за счет насыщения пород гиббситом при дальнейшем латеритном выветривании.

Характерно, что в реальной выборке оба статистических граничных значения: 32 и 56 % Al_2O_3, – на 9 % ниже теоретических содержаний Al_2O_3 соответственно в каолините и гиббсите, что может свидетельствовать о стабильном количестве балластных

компонентов, остающихся при полнопроявленном латеритном выветривании. Вероятно, такими компонентами являются прежде всего гидроксиды железа, которые при латеритизации ведут себя так же инертно, как и глинозем.

Бимодальность статистического распределения содержаний Al_2O_3 на Вежаю-Ворыквинском месторождении (см. рис.1) может быть обусловлена вторичным переотложением первичных латеритных бокситов и последующими процессами их ресиликации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бушинский Г.И.* Геология бокситов. М.: Недра, 1975.

2. *Валетон И.* Бокситы. М.: Мир, 1974.

3. *Демина В.Н.* Бокситы Среднего и Южного Тимана. М.: Наука, 1977.

4. *Самама Ж.-К.* Выветривание и рудные поля. М.: Мир, 1989.