

УДК 553.048:550.8:553.411

А.Д. Чернова¹, Н.Н. Шатагин²

ЭФФЕКТ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОСТИ В КВАРЦ-ЗОЛОТОРУДНЫХ ЖИЛАХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЕКУРА (ВОСТОЧНАЯ ЧУКОТКА)

В изменчивости золоторудной минерализации месторождения Кекура выявлен эффект пропорциональности, наличие которого осложняет интерпретацию данных и влияет на методику изучения вариографии месторождения. В статье приведены методика его обнаружения, а также способы нивелирования выявленного эффекта для дальнейшей работы с вариографией.

Ключевые слова: геостатистика, золото, вариография, эффект пропорциональности.

A proportional effect was detected in the gold mineralization's variability in Kekura. The presence of the effect complicates the data interpretation and influence on the methodology of studying the deposit's variography. This article demonstrates the discovery method of this effect and how to smooth out its influence for further work with variography.

Key words: geostatistics, gold mineralization, variography, the proportional effect.

Введение. Структурные функции (или вариограммы) предоставляют геологу важнейшую информацию об изменчивости содержания полезных компонентов в недрах. Теоретическую интерпретацию вариограмм и их корректное использование при геостатистической оценке запасов месторождений значительно осложняет появление анизотропных вариограмм, особенно так называемых *зональных*, или *стратифицированных*, вариограмм. В этом случае вариограммы, построенные по разным направлениям, выходят на разный уровень *порога* (силла). Появление вариограмм с анизотропией зонального типа может быть связано не только с природными геохимическими причинами. Внешне получается сходная картина, если по недосмотру в исходную выборку включены пробы разного объема, например валовые и бороздовые пробы, или если в выборку включены все пробы, отобранные из вееров подземных буровых скважин, независимо от того, в каком направлении они были пробурены — от кровли к подошве рудного тела или наоборот от подошвы к кровле. Важна также ориентировка ствола скважины по отношению к элементам залегания рудного тела.

Одна из причин появления многоярусных анизотропных зональных вариограмм — *эффект пропорциональности*. Он проявляется в том, что в изучаемой статистической совокупности присутствует зависимость дисперсии содержания от содержания изучаемого компонента руды. Различают прямой и обратный эффекты пропорциональности. В случае присутствия прямого эффекта с увеличением содержания изучаемого компонента наблюдается рост дисперсии (или *вариограммы*, в терминологии [Матерон, 1968]). Чаще всего прямой эффект пропорциональности проявляется в рудах с общей бедной минерализацией (уран,

золото, платина, ртуть). В этих случаях изучаемая переменная почти всегда имеет логнормальное распределение. Обратный эффект пропорциональности, когда с увеличением содержания основного компонента дисперсия снижается, характерен для богатых руд железа, алюминия, бария, содержание которых обычно характеризуется обратным логнормальным типом гистограммы.

Авторы исследовали данные опробования, полученные в ходе геологоразведочных работ на месторождении Кекура в 2004–2008 гг. (данные В.И. Уютова и др., 2009).

Месторождение выявлено при изучении территории Чукотского полуострова в 90-е гг. прошлого века (С.П. Глотов, 1995). В результате геологоразведочных работ выявлены рудопроявления кварцево-жильного типа на участках Кекура, Гонч, Бонд, Закол и Забытый, а также установлена высокая перспективность Коральвеемского рудно-россыпного узла, рудных полей Кекура, Бонд и Гонч. Рудопроявление Кекура выведено в ранг месторождения в результате проведения поисково-оценочных работ в пределах Коральвеемского рудного узла, входящего в состав Студухинского рудно-россыпного района, в 2004–2008 гг. (данные В.И. Уютова, 2009).

Месторождение приурочено к центральной части Кекурского интрузивного массива штокообразной формы площадью около 13 км². Вмещающими породами служат интенсивно тектонизированные флишоиды устиевской поздне триасовой толщи, а также позднеюрские и раннемеловые терригенные и вулканогенно-терригенные породы. Интрузивный массив обладает признаками кольцевого строения. Периферия интрузива сложена кварцевыми диоритами первой фазы внедрения, основной объем интрузии

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, соискатель; *e-mail:* a.d.chernova@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, вед. науч. с., канд. геол.-минер. н.; *e-mail:* shatagin@geol.msu.ru

составляют кварцевые монцодиориты (и монцониты) и сменяющие их в центральной части гранодиориты второй и третьей фаз внедрения соответственно.

Положение месторождения контролируется узлом пересечения разрывных структур северо-восточного и северо-западного направлений. Формирование разломов и даек сопровождалось интенсивным проявлением гидротермально-метасоматических процессов березитового профиля и одновременным образованием многочисленных проявлений и пунктов эндогенной золоторудной минерализации.

В контроле оруденения важное значение имеют породы дайкового комплекса. Особая роль отводится при этом дайкам лампрофиров, внедрение которых свидетельствует об активизации флюидно-магматогенных систем наиболее глубинных уровней (уровень первичного очага), а также об их провоцирующем влиянии на активизацию флюидно-магматических систем более высокого порядка. Мощность даек варьирует от нескольких сантиметров и десятков сантиметров до 2–5 м. Лампрофиры играют роль своеобразных структурных маркеров, позволяющих в первом приближении расшифровать важнейшие структурные признаки рудоносной зоны.

По сути вся продуктивная мощность рудной зоны сформирована четырьмя-пятью кулисообразными фрагментами наиболее ранней разрывной структуры и сопутствующей ей дайке лампрофиров. Формирование разломов рассматриваемой системы носит дорудный характер и сопровождается березитами продуктивной генерации (В.И. Уютов с коллегами, 2009).

Рудные тела в геологических контурах не выходят за пределы березитовых ритмов, тяготеют к их внутренней зоне, представляющей собой существенно кварцевую жильно-прожилковую зону. Продуктивность рудных тел, а также характер распределения золота полностью определяются количеством и мощностью кварцевых жил и прожилков в границах внутренней зоны березитов.

Нами выделены три основные рудные зоны, в пределах которых установлено несколько крупных жильных рудных тел и множество небольших линз. Разделение зон базируется на их приуроченности к дайке лампрофиров.

Для выделенных рудных тел проведен статистический анализ, который показал, что распределение золота в рудах крайне неравномерно. Анализ выполнен на примере рудного тела (РТ) № 1 в нижней рудной зоне. Коэффициент вариации для РТ № 1 составил 300%, а распределение имеет логнормальный характер (рис. 1). Для остальных рудных тел картина аналогичная. В связи с высокой неоднородностью распределения содержания золота в рудных телах возникла необходимость проверить наличие в рудах эффекта пропорциональности.

Для выявления эффекта пропорциональности на современном этапе развития технологий используют

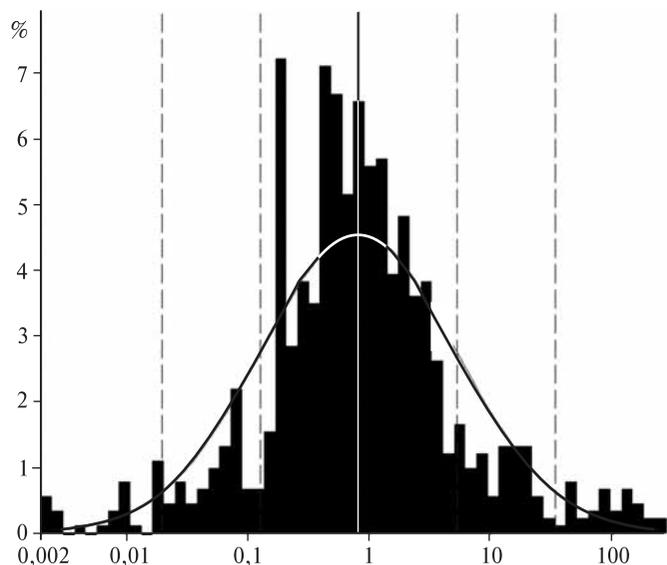


Рис. 1. Гистограмма распределения золота в РТ № 1 после лог-преобразования

компьютерные программы 3D-моделирования, такие как Micromine, Datamine, Surpac и пр. С их помощью можно рассчитать зависимость дисперсии среднего содержания от среднего содержания компонента на основании исходных данных опробования. Мы проводили расчеты с использованием программы Micromine. Для визуализации наличия эффекта пропорциональности в рудах использован график простой линейной регрессии. Если регрессия показывает хорошую корреляцию между стандартным отклонением и средним, то для данной совокупности установлен эффект пропорциональности. В основу компьютерных расчетов положена следующая методика.

Методика выявления эффекта пропорциональности. Чтобы обнаружить присутствие прямого эффекта пропорциональности, поступают следующим образом. Изучаемую совокупность анализов разбивают на 10–15 «маленьких» классов содержания. Например, для меди из меднопорфирового месторождения выбирают такие границы классов (%): 0–0,2–0,4–0,6–0,8–1,0 и т.д. Затем в каждый класс относят пробы, отвечающие границам класса. При этом нужно соблюдать две рекомендации: во-первых, желательно, чтобы число проб в классе было в пределах 30–50. Во-вторых, расстояние между отбираемыми в выборку пробами не должно превышать 1/2 размера исследуемого рудного тела, так как на большем расстоянии вариограммы теряют смысл. Более того, в работе [Journal, Huijbregts, 1989] рекомендовано использовать следующее практическое правило: если L — размер рассматриваемого поля (рудного тела в определенном направлении), а $|h|$ — расстояние между парой проб, то расстояние $|h| < L/2$ следует рассматривать как *дистанцию достоверности*, дальше которой делать расчеты вариограмм нецелесообразно. Указанные авторы предлагают при расчете вариограмм не превышать расстояние $|h| > L/3$.

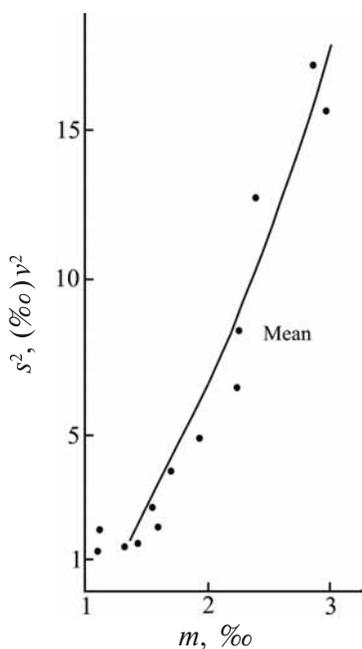


Рис. 2. Подгонка эффекта пропорциональности для Нигерийского месторождения урана (экспериментальная дисперсия в сравнении с экспериментальным средним)

Затем для каждой маленькой выборки рассчитывают основные описательные статистики: среднее содержание в классе, среднее квадратическое отклонение, относительное стандартное отклонение и дисперсию. По полученным значениям строят графики зависимости значений экспериментальной дисперсии от экспериментальных значений среднего содержания изучаемой переменной. Обычно получается зависимость линейного, параболического или экспоненциального типа. В качестве иллюстрации приведем параболу пропорционального эффекта из работы [Journel, Huijbregts 1989], посвященной структурному анализу содержания урана в осадочном месторождении в Нигерии (Центральная Африка).

На точечной диаграмме (рис. 2) по горизонтальной оси отложено среднее содержание урана (г/т) в 13 классах содержания. По вертикальной оси отложены значения дисперсии содержания урана, рассчитанные для каждого из этих классов. Парабола, подогаданная к точечной диаграмме, имеет формулу $s = 2,2 m^2$. Если посчитать вариограммы для разных направлений, не учитывая установленного пропорционального эффекта, то они выйдут на разные пороги (рис. 3). На этом рисунке по горизонтальной оси отложено расстояние между пробами, а по вертикальной — дисперсия. Самый высокий порог демонстрирует вариограмма, построенная для направления восток–запад; чуть ниже окажется вариограмма по направлению с севера на юг; а у вариограммы, построенной по вертикальному направлению, порог окажется самым низким. Если разделить эти вариограммы на квадраты их относительных средних содержаний, то окажется,

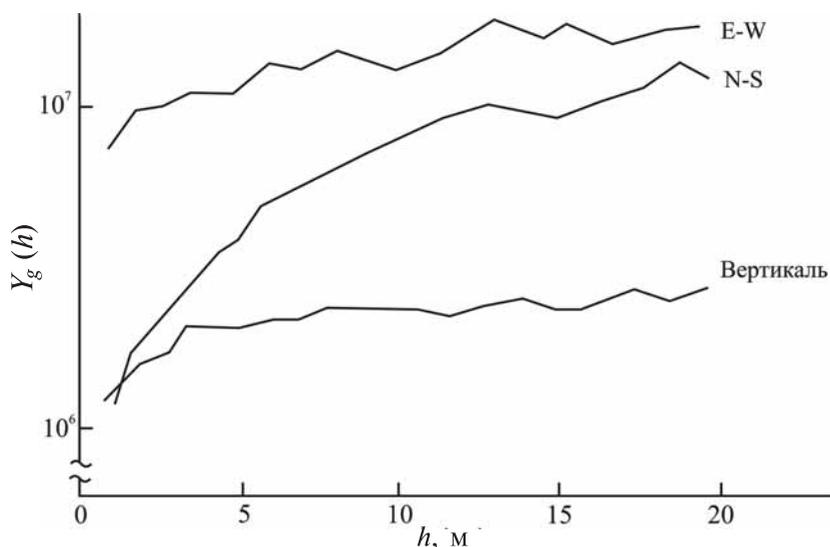


Рис. 3. Полувариограммы содержания урана для трех направлений на месторождении Новаца

что все три вариограммы можно объединить в одну среднюю изотропную (одинаковую по всем направлениям) относительную вариограмму $\gamma_g^2(h)/m_g^*$ (рис. 4). Таким образом, в данном случае происходит переход от одной единицы измерения изменчивости — дисперсии (вариограммы) к другим, уже безразмерным величинам, т.е. к значениям относительного отклонения или коэффициента вариации.

Результаты исследований и их обсуждение. Для рудных тел месторождения Кекура выявлен эффект пропорциональности. Все вычисления выполнены с использованием программы Micromine, в этой же программе построены диаграммы зависимости среднего квадратического отклонения от среднего содержания Au. Все вычисления сделаны на примере РТ № 1 из нижней рудной зоны (рис. 5). Полученная зависимость может быть хорошо описана экспериментальной кривой линейного вида. Положительное значение коэффициента корреляции, близкое к 1 (для

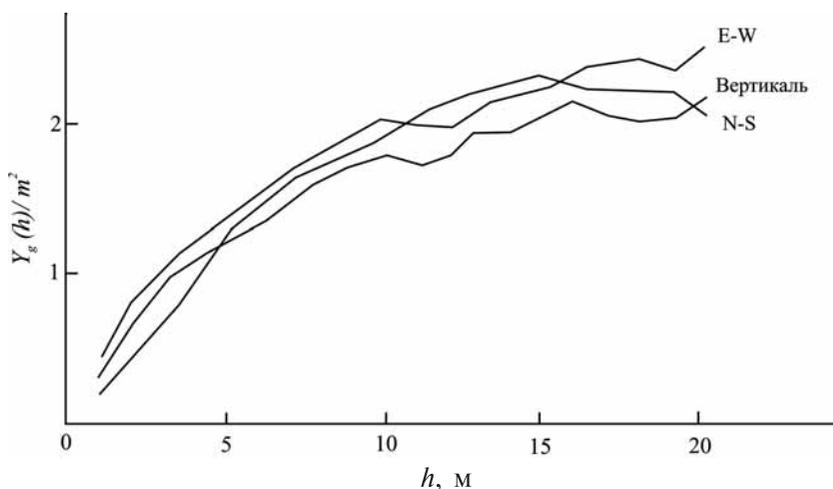


Рис. 4. Относительные полувариограммы содержания урана для трех направлений на месторождении Новаца

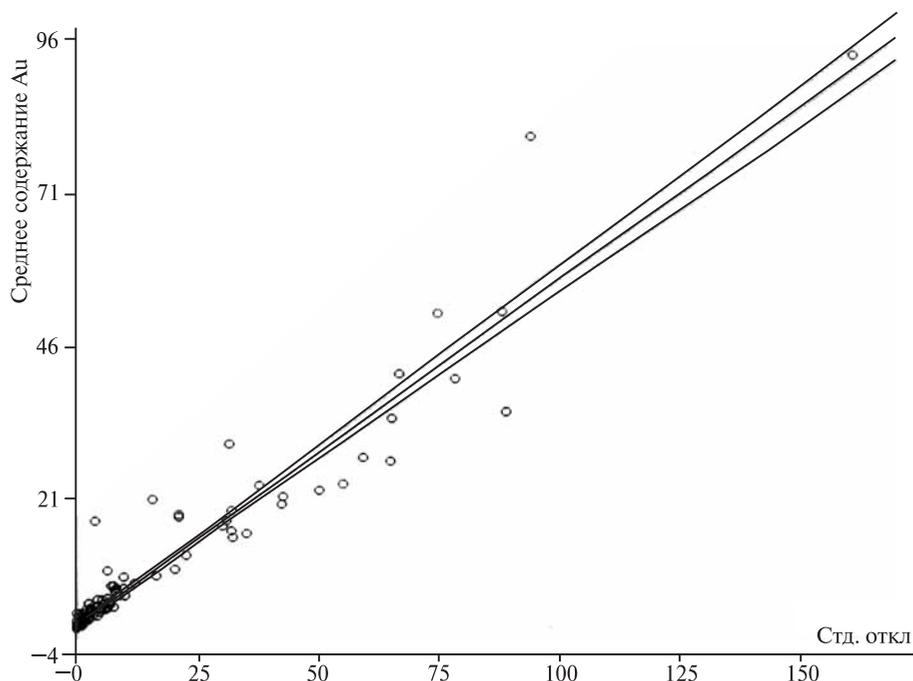


Рис. 5. Подгонка экспоненциальных кривых к эффекту пропорциональности для месторождения Кекура (на примере рудного тела № 1 нижней рудной зоны)

РТ № 1 0,96), свидетельствует о сильной взаимосвязи двух изучаемых переменных и дает возможность с уверенностью более 99% утверждать, что в рудах месторождения Кекура присутствует эффект пропорциональности. Это значит, что при дальнейшем структурном анализе вариограмм, вероятнее всего, придется использовать *относительные вариограммы*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968. 408 с.

Выводы. 1. В кварц-золоторудных жилах месторождения Кекура присутствует эффект пропорциональности.

2. Для месторождения Кекура при выявленном эффекте пропорциональности рекомендуется использовать результаты контроля анализов содержания золота для проб с его высоким содержанием.

Journal A. G., Huijbregts Ch. Mining Geostatistics. L.: Academic Press, 1989.

Поступила в редакцию
27.05.2013