

УДК 550.41:519.237

Использование информационных коэффициентов пропорциональности для анализа распределения золота в рудном теле Васильевского месторождения

Михаил М. Лабушев^{a*}, Ольга С. Борzych^б

^a Сибирский федеральный университет,
660041 Россия, Красноярск, пр. Свободный, 79

^б Красноярская партия Новосибирской геологопоисковой экспедиции,
660049 Россия, Красноярск, ул. Карла Маркса, 48¹

Received 1.02.2008, received in revised form 12.05.2008, accepted 30.05.2008

На основе использования информационных коэффициентов пропорциональности как математического обобщения понятия «коэффициент пропорциональности» рассматривается пропорциональность содержаний золота в рудном теле Васильевского месторождения золота по двум стенкам шахты на интервале 0 – 100 м. Информационные коэффициенты пропорциональности составляют в вариационных рядах масштабно самоподобные последовательности двух типов. Здесь предполагается существование линейной структуры типа «двойная спираль». Количественные данные о пропорциональности трех смежных содержаний химического элемента определены как минимальная информация, необходимая для существенного суждения о распределении содержаний золота. Установлены характерные вещественные элементы рудного тела.

Ключевые слова: информационный коэффициент пропорциональности, месторождение золота, пропорциональность содержаний золота, фракталы, двойная спираль.

Информационный коэффициент пропорциональности $I(a,b)$ является математическим обобщением понятия «коэффициент пропорциональности» для любого количества положительных чисел [1]. Формулы его расчета подобны формулам теории информации для определения количества информации двух совместных событий, но вместо неопределенностей $H(a)$, $H(b)$ и $H(a,b)$ вычисляются информационные коэффициенты строковой, столбцовой и матричной пропорциональности $K(a)$, $K(b)$ и $K(a,b)$ соответственно:

$$K(a) = - \sum_{i=1}^n k(a_i) \ln k(a_i),$$

$$K(b) = - \sum_{j=1}^m k(b_j) \ln k(b_j),$$

$$K(a,b) = - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m k(a_i, b_j) \ln k(a_i, b_j)$$

* Corresponding author E-mail address: mlabushev@yandex.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

$$I(a, b) = K(a) + K(b) - K(a, b),$$

где $k(a_i)$ и $k(b_j)$ – это коэффициенты пропорциональности, числители которых равны соответственно суммам элементов i -строки и j -столбца, а знаменатели – сумме всех элементов матрицы вычислений, $k(a_i b_j)$ – это коэффициент пропорциональности ij -элемента матрицы и суммы всех элементов матрицы.

Для вычислений использована квадратная матрица, включающая 9 элементов, так как наиболее информативными оказались $K(a)$ и $K(b)$, вычисляемые для трех чисел. Отношения величин к их сумме интерпретируются не как вероятности, а как коэффициенты пропорциональности. Пропорциональное изменение всех элементов матрицы не влияет на величину вычисляемого $I(a, b)$, что присуще и обычному коэффициенту пропорциональности.

Если каждое число в матрице представлено трижды и встречается только один раз в каждой строке и столбце, то при взаимном изменении каждого из трех чисел на значение другого числа $I(a, b)$ не изменяется. На рис. 1а показана замена при вычислениях числа 1 на 2 и 3, $I(a, b)$ при этом остается равным 0,0872.

$I(a, b)$ позволяет однозначно определить пропорциональность трех чисел, для n чисел необходима квадратная матрица с n^2 элементами. Расчеты различных по числу элементов матриц приводят к неоднородности получаемой выборки $I(a, b)$.

Определение пропорциональности произвольного количества чисел при помощи квадратной матрицы с девятью элементами заключается в вычислении множества $I(a, b)$ с вводом в матрицу суммарного элемента, который равен сумме остальных восьми элементов. Использование суммарного элемента позволяет определять $I(a, b)$ одного числа как константу, равную 0,11012. Для двух исходных чисел при этом можно получить десятки различающихся $I(a, b)$ в выборке, логарифмы нулевых величин заменяются на ноль. На рис. 1б показан один из вариантов матриц для определения пропорциональности трех чисел, общая схема расчетов с суммарным элементом подобна схеме вычислений чисел Фибоначчи, но с размерностью 2.

Требования для расчетов $I(a, b)$ следующие:

- вероятность попадания числа в матрицу равна вероятности встречаемости этого числа среди исходных данных;
- расположение элементов в матрице случайно;
- в расчетной матрице нет пустых элементов;
- выборка значений $I(a, b)$ должна быть большой.

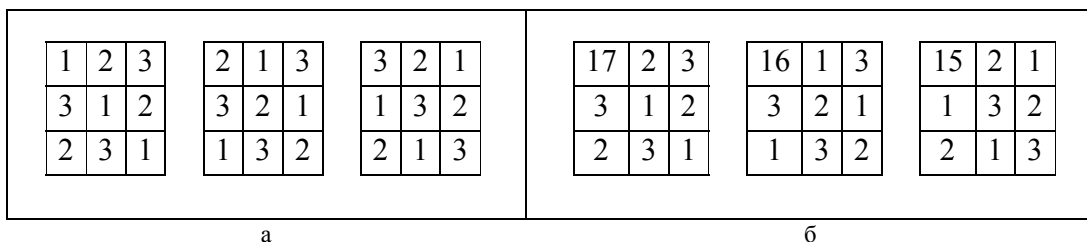


Рис. 1. Матрицы для расчета $I(a, b)$: а – для характеристики пропорциональности трех чисел, б – то же для сравнения пропорциональности произвольного количества чисел

Разработана методика цифровой характеристики пропорциональности минералов, горных пород и руд с пересчетом химического состава на количество атомов каждого элемента и определением пропорциональности соответствующего количества атомных масс. Получены унимодальные симметричные и правоасимметричные распределения больших выборок $I(a,b)$, которые симметризируются преобразованием с извлечением квадратного корня. По критерию Пирсона эти распределения существенно отклоняются от нормальных и логнормальных распределений, высказана гипотеза об их аналогичности волновым распределениям Шредингера [2]. Симметризованные распределения $I(a,b)$ предлагается характеризовать средним значением и дисперсией.

Такие средние значения, вероятно, уникальны для каждой системы атомных масс, они сохраняют свою величину при пропорциональном увеличении или уменьшении количества атомов в системе. В вычислениях $I(a,b)$ используются только показатели относительных атомных масс, что указывает на потенциально равную информативность атомных масс и вычисляемого на их основе показателя.

Васильевское месторождение золота Енисейского кряжа относится к кварц-золоторудной формации. Для него, как и для других подобных месторождений, характерна высокая изменчивость содержания золота в рудных телах с коэффициентами вариации свыше 150 %. Это практически исключает возможность выявления на основе анализа результатов пробирного анализа каких-либо существенных повторяющихся закономерностей в распределении золота как в рудных телах, так и за их пределами.

Изучение таких объектов связано с поиском закономерностей на основе незначительной информации – выборки содержания химического элемента, присутствующего в рудах в массовой доле от $n \cdot 10^{-4}$ до $n \cdot 10^{-3}$ %. Если исходить из положения о том, что свойства химических элементов зависят от свойств включающих их геохимических систем, то такую задачу вообще следует рассматривать как некорректную.

Для выявления таких закономерностей были совместно изучены распределения содержания золота жилы «Васильевская-1» и информационные коэффициенты их пропорциональности, которые характеризуются существенно меньшими коэффициентами вариации. Указанная жила разведана канавами через 10-20 м, штреками и ортами до глубины 25, 50 и 100 м. На северо-восточном фланге жилы скважинами выявлено промышленное оруденение, которое прослеживается до глубины 500 м.

Кварц жилы желтовато-белый, среднезернистый, трещиноватый, охристый и лимонитизированный, с гнездовыми вкраплениями мелко- и среднекристаллического пирита, реже арсенопирита. Отмечено видимое золото в виде мелких зерен и редкой тонкой рассеянной вкрапленности. В кварце жилы наблюдаются редкие линзообразные включения серых оталькованных филлитов. Вмещающие породы – серые филлиты, секущиеся в различных направлениях серийей кварцевых прожилков мощностью 0,05-0,2 м, с гнездовой вкрапленностью мелко- и среднекристаллического пирита.

Исходными данными явились результаты пробирного анализа бороздовых проб, отобранных в 1952 году В.Г.Голубевым в интервале 0-100 м по северо-восточной (СВ) и юго-западной (ЮЗ) стенкам разведочной шахты №1. На интервале 1,0 – 21,0 м шахта проходит по лежащему боку основной, западной ветви жилы. На глубине 25,00 м шахтой вскрыт висячий контакт второй, восточной ветви кварцевой жилы, пересеченной ниже, в интервале 25,0 – 49,0 м по СВ

стенке и на 25,0 – 56,0 м по ЮЗ стенке шахты. Мощность ее от 0,2 м до 1,8 м. В интервале 56,0 – 65,0 м отмечаются оруденелые филлиты, пересеченные серией тонких кварцевых прожилков. В интервале 65,0 – 82,0 м отмечены массивные филлиты с прожилками охристого кварца. Интервал 82,0 – 92,0 м характерен массивными темно-серыми, груборассланцованными глинистыми сланцами с редкими кварцевыми прожилками.

На 92-м метре выработкой вскрыт контакт жилы, который имеет почти вертикальное падение. У контакта кварц жилы имеет охристо-лимонитизированную оторочку из сильно окварцованных сланцев. На глубине 100 м с СЗ стенки шахты подходит пологопадающая основная, западная, ветвь жилы. Обе ветви жилы сливаются на 101-м метре в одну жилу мощностью до двух метров.

Уникальность этих аналитических данных в том, что рудное тело опробовано непрерывно на большом интервале по двум стенкам шахты, всего проанализировано 450 проб. Для определения информационных коэффициентов пропорциональности содержания золота объединялись в последовательности из трех проб методом скользящего окна с последовательным смещением окна на одну пробу.

Изучались диаграммы распределения содержаний золота и $I(a,b)$ в пространственной последовательности и вариационных рядов указанных величин. Меньшая изменчивость $I(a,b)$ позволила выявить повторяющиеся вещественные элементы, которые по распределениям золота обнаруживаются не так отчетливо или не обнаруживаются вовсе.

Вычисления $I(a,b)$ проводились без использования при расчетах суммарного элемента, так как в данном случае не существует проблемы однородности получаемых выборок $I(a,b)$. Совместно изучались диаграммы распределения золота и $I(a,b)$, отражающие пространственную последовательность соответствующих проб, и указанные величины, сортированные по возрастанию. Вследствие более низкой изменчивости значений $I(a,b)$ по данным их анализа стало возможным выявлять повторяющиеся элементы, которые затем обнаруживаются по распределениям содержаний золота в менее отчетливом виде, но с элементами подобия. Поведение величины $I(a,b)$ выступает в роли достаточного основания для заверки аналогичных закономерностей в поведении содержаний золота.

Для распределения золота характерно чередование соразмерных интервалов с относительно высокими и низкими содержаниями на фоне чередования областей его непрерывного распределения и дискретного, со смежными пробами, показавшими содержания ниже предела обнаружения (НПО). Были установлены закономерно располагающиеся максимальные значения $I(a,b)$, далее именуемые выбросами.

Выбросы первого типа связаны с идущими подряд двумя пробами НПО на фоне практического отсутствия таких проб в окрестностях. Выбросы второго типа наблюдаются в случае, когда две пробы НПО разделены пробой с содержанием золота выше порога чувствительности. Когда в связи с дискретностью распределения золота количество выбросов резко увеличивалось, смежные пробы НПО рассматривались как одна. По отношению к интервалам богатых руд выбросы можно разделить на краевые и центральные, первые соответствуют участкам бедных руд, а вторые – богатых. Изучение выбросов, а также других характерных значений $I(a,b)$ перспективно для прогноза распределения золота и разработки точных методов подсчета запасов.

Для гистограмм вариационного ряда $I(a,b)$ характерно масштабное самоподобие, которое можно сопоставить с элементами самоподобия термодинамически неравновесных систем. Это самоподобие характерно как для интервала в целом, так и для отдельных его частей (рис. 2).

Для вариационных рядов содержаний золота такое самоподобие не характерно (рис. 3в), но в отдельных случаях проявляется (табл.1). Ниже приводятся данные для интервала 0-25 м (рис. 3).

Интервал 0-25 м по ЮЗ стенке с рядовыми рудами характеризуется соразмерными интервалами относительно высоких и низких содержаний золота в условиях их непрерывного распределения. Первый из них с двумя смежными центральными выбросами первого типа ограничивается краевыми выбросами второго типа, расстояние между которыми больше «обогащенного» интервала. Гистограмма вариационного ряда $I(a,b)$ имеет выраженное масштабное самоподобие, которое по гистограмме вариационного ряда содержаний золота визуальнo не устанавливается.

Вариационные ряды $I(a,b)$ на всех интервалах несут признаки масштабного самоподобия двух типов, а гистограммы вариационного ряда содержаний золота практически не имеют видимого самоподобия. Общая характеристика распределений золота и $I(a,b)$ для шахты №1 приведена в табл. 1.

Анализ распределений $I(a,b)$ перспективен для изучения золоторудных месторождений и моделирования процессов рудообразования. Так, в рассмотренном примере обосновывается выделение двух типов распределений $I(a,b)$ и соответственно самих содержаний золота. Предполагается, что эти распределения связаны со структурой типа «двойная спираль».

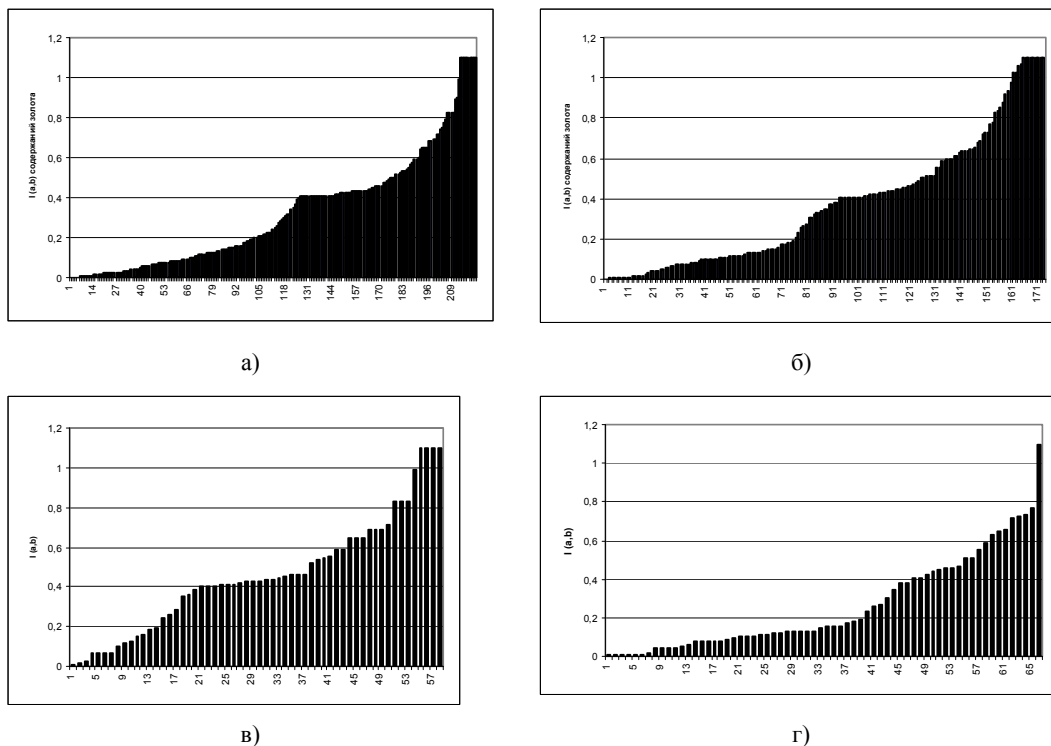


Рис. 2. Вариационные ряды $I(a,b)$ содержаний золота: а – инт. 0-100 м (ЮЗ стенка), б – инт. 0-100 м (СВ стенка), в – инт. 50-100 м, (ЮЗ стенка), г – инт. 25-50 м (СВ стенка шахты)

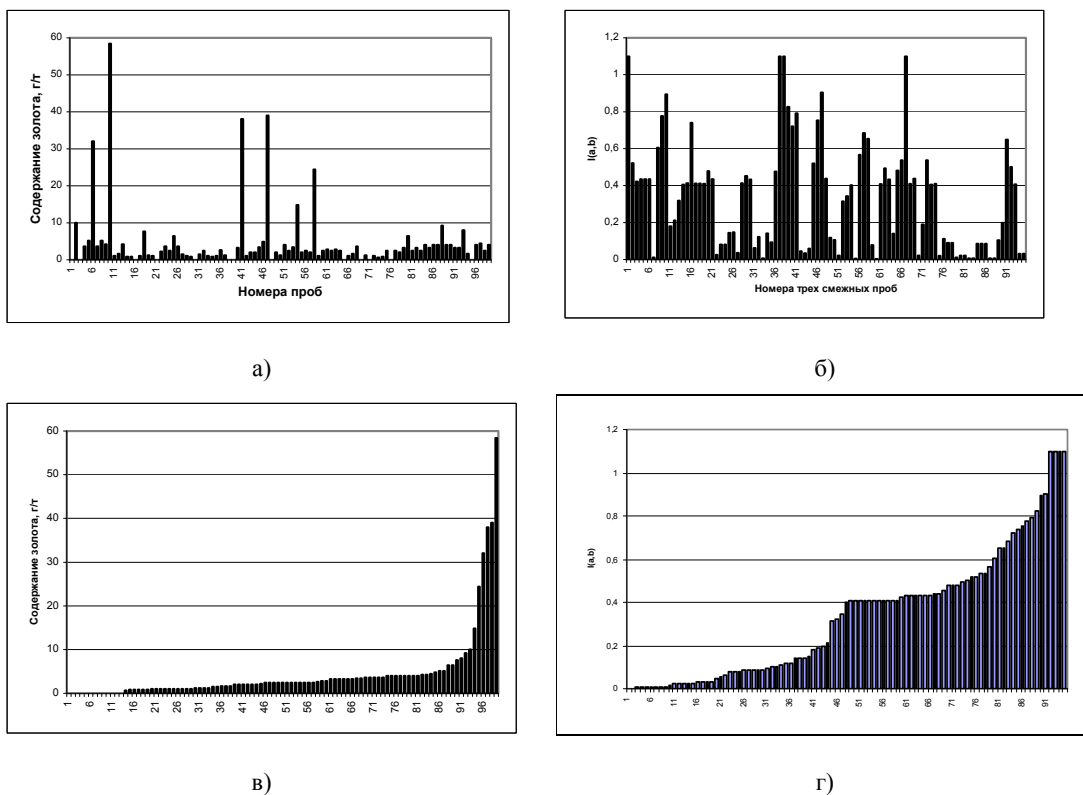


Рис. 3. Шахта №1 Васильевского месторождения, ЮЗ стенка, интервал 0-25 м, распределение: а – содержаний золота, б – $I(a,b)$ содержаний по трем смежным пробам, в – вариационного ряда содержаний, г – вариационного ряда триад содержаний

Таблица 1. Характеристика золотого оруденения

| Интервал опробования | Тип руд | Распределение золота | Масштабное самоподобие вариационного ряда содержаний золота | Масштабное самоподобие вариационного ряда $I(a,b)$ |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| юго-западная стенка | | | | |
| 0-25 м | рядовые | непрерывное | нет | высокое 1 типа |
| 25-50 м | рядовые | непрерывное | низкое | среднее 1 типа |
| 50-100 м | рядовые и бедные | дискретное | низкое | высокое 1 типа |
| 0-100 м | рядовые и бедные | | низкое | высокое 1 типа |
| северо-восточная стенка | | | | |
| 0-25 м | богатые и рядовые | непрерывное | нет | среднее 2 типа |
| 25-50 м | рядовые | дискретное | нет | среднее 2 типа |
| 50-100 м | рядовые и бедные | дискретное | низкое | высокое 1 типа |
| 0-100 м | богатые, рядовые и бедные | | нет | высокое 2 типа |

Изучение пропорциональности содержаний золота в рудном теле Васильевского месторождения золота Енисейского края позволило:

- выявить свойство $I(a,b)$ формировать в вариационном ряду два типа масштабно самоподобных последовательностей, смежные значения которых соответствуют пробам, пространственно разобщенным в рудном теле;
- определить неравновесный характер рудообразования при формировании Васильевского месторождения золота;
- определить количественные данные о пропорциональности трех смежных содержаний химического элемента как минимальную информацию, необходимую для существенного суждения о распределении содержаний химического элемента;
- установить повторяющиеся вещественные элементы рудного тела;
- показать перспективы обнаружения в геологических объектах сложноорганизованных структур типа «двойная спираль».

Список литературы

1. Ильюша Т.Г. Распределение и пропорциональность содержаний меди, серебра и золота в стандартных образцах золота лигатурного ОАО «Красцветмет» / Т.Г. Ильюша, И.Б. Хобякова, М.М. Лабушев // Стандартные образцы. – 2006. – №4. – С.52–64.
2. Лабушев М.М. Информация и пропорциональность величин в природе / М.М. Лабушев. – Красноярск: Государственный университет цветных металлов и золота, 2004. – 136 с.

Use of Informational Proportionality Coefficients for the Analysis of Gold Distribution in the Ore Body of the Vasilyevskoe Gold Deposit

Mikhail M. Labushev^a and Olga S. Borzykh^b

^a Siberian Federal University,

79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia

^b Novosibirsk Geological Prospecting Expedition

Krasnoyarsk Prospecting Party,

48 Karl Marks st., Krasnoyarsk, 660049 Russia

Based on the use of informational proportionality coefficients as mathematical generalization of proportionality coefficient concept, the proportionality of gold contents in Vasilyevskoe gold field deposit across two walls of the mine on the interval of 0 – 100 m is analysed. The proportionality indices form scaled self-similar sequences of two types in variation rows. Here «a double spiral» model of linear structure is supposed to exist. The quantitative data concerning the proportionality of three adjoining gold contents have been determined as minimum information, which is necessary for making an essential conclusion about gold distribution. The characteristic material elements of ore body have been determined.

Key words: informational proportionality coefficient, gold field, proportionality of gold contents, fractals, double spiral.
