УДК 553.3/4 : 553.411

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОБОСНОВАНИЯ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗОЛОТА В РУДАХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

С.В.СЕНДЕК, *канд. геол.-минерал. наук, sendek-sv12@yandex.ru*
К.Е.ЧЕРНЫШЕВ, *аспирант, mekosoy@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрены теоретические обоснования анализа закономерных распределений золота в рудах гидротермальных месторождений. В основу анализа положены принципы энтропийной зависимости изменчивости распределений концентраций золота в различных физико-химических рудообразующих условиях, формирующих определенные золоторудные парагенезисы минералов руды. Распределение концентраций золота в конкретном рудном парагенезисе подчинено логнормальному закону и, следовательно, на двоичной (логнормальной) шкале концентраций золота конкретный парагенезис минералов руды отображается в виде частотного максимума того или иного класса шкалы. Используя определенные методические приемы обработки данных бороздового опробования рудных тел, можно выявить или подтвердить присутствие нескольких продуктивных рудных ассоциаций минералов руды, сопоставить их объемные и количественные соотношения в рудных телах и эксплуатационных блоках месторождений. Полученные результаты проведенных аналитических исследований распределений концентраций золота в рудах разных, в том числе полистадийных гидротермальных, месторождений подтверждают возможность широкого использования методики анализа распределений концентраций золота в рудах для дополнительного исследования генетической природы оруденения и промышленной особенности руды.

Ключевые слова: концентрации золота, логнормальное распределение, бороздовое опробование, частость проб, мощность рудного тела, продуктивность или линейный запас золота.

В производственной геологической практике оценки, разведки и особенно эксплуатации золоторудных месторождений непременным условием достоверности получения сведений о месторождении является использование данных систематического опробования рудных тел. Основным показателем опробования является концентрация золота в рудных телах и ее изменчивость, позволяющие анализировать плотности разведочных сетей, виды и способы взятия проб, подсчитывать запасы золота. Концентрация золота или содержание золота в рудах определяет качественную и количественную оценку рудного тела и месторождения в целом. Поэтому не случайно на протяжении многих десятилетий геологи разрабатывали методы наиболее точного определения концентраций металлов, в том числе и золота, в анализируемых рудах. В фундаментальных работах К.Л.Пожарицкого, В.М.Крейтера, А.Д.Краснова, П.Л.Каллистова, М.Н.Альбова, Е.О.Погребицкого, Л.И.Четверикова и других для достоверной оценки концентраций металлов предложен целый ряд методик по способам и видам опробования руд применительно к тем или иным месторождениям, включая и золоторудные.

Для выявления достоверных значений концентраций металлов широко используются методы вероятностной математической статистики данных опробования руд. Использование этих методов основано на том, что каждая проба, взятая из одного и того же рудного тела, не гарантирует подтверждения в соседней, смежной части рудного тела. Поэтому совокупности опробования руд составляют случайный набор цифровых показателей проб, который может и должен анализироваться вероятностными математическими методами. Основные методы вероятностного математического анализа распределений золота в рудах

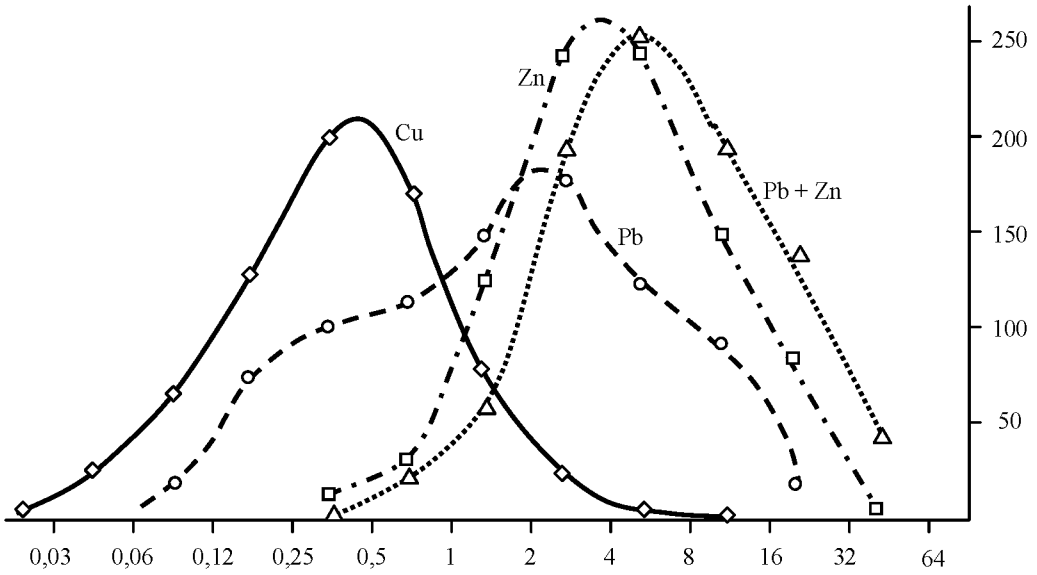


Рис.1. Графики распределений концентраций металлов в рудах Риддер-Сокольного месторождения. Абсцисса – логнормальная шкала концентраций, %, ордината – частость проб, шт.

и рудных телах направлены на получение наиболее точных параметров концентраций золота в руде с последующим использованием полученных аналитических данных для подсчета запасов. С этой целью прежде всего рассматривается совокупное распределение данных опробования для получения информации о распределении содержаний металлов. По характеру распределений содержаний определяется их нормальная (арифметическая) или логарифмическая (геометрическая) закономерность, с помощью которой рассчитываются параметры: средние концентрации, медианы, моды, эксцессы и дисперсии концентраций золота в анализируемой выборке.

Вместе с тем при анализе изменчивости концентраций металлов в рудах всегда возникают вопросы о причинах их появления, о том, какие геологические особенности рудообразования формируют закономерности распределений концентраций металлов и в чем это выражается.

Многолетний анализ распределений металлов в рудах (Н.К.Разумовский, А.Н.Колмогоров, Р.И.Коган, Д.А.Родионов и др.) позволил обнаружить в рудах металлов логнормальный тип распределений концентраций. Впервые это показал Н.К.Разумовский [9], который на примере распределений Cu, Pb, Zn и суммы Pb + Zn в Ново-Сокольной линзе Риддерского месторождения установил, что логарифмически нормальный закон является господствующим (рис.1).

Причина такого распределения металлов для Н.К.Разумовского была не ясна. Тем не менее, это позволило ему сделать важные выводы о необходимости использования логнормального закона при подсчете запасов рудных и россыпных месторождений, поскольку «...логарифмически-нормальный закон, по-видимому, в природе распространен гораздо больше, чем это до сих пор известно» [9, с.817].

Это предположение было раскрыто математиком академиком А.Н.Колмогоровым, который показал, что логнормальное распределение широко применяется в самых различных областях естествознания. Например, ему подчинены распределения содержаний редких и малых элементов в породах различного генезиса или размеры частиц при дроблении руды.

В справочной литературе по математическим методам в геологии отмечается, что «... хотя во многих случаях аппроксимация логнормальным распределением вполне удовлетворительная, надлежащее теоретическое обоснование, ведущее к логнормальной модели, почти всегда отсутствует. Это не позволяет исследователю дать генетическую интер-

претацию полученных таким путем вероятностных моделей. Тем не менее, если ограничиться задачей подбора достаточно приемлемой аппроксимации наблюдаемых в результате опыта асимметричных распределений (например, для более сжатого представления обширной выборочной информации или с целью более обоснованного применения некоторых статистических критериев и т.п.), то логнормальный закон нередко оказывается вполне подходящей моделью» [13, с.33].

Закономерности логнормального распределения могут быть проиллюстрированы и с других позиций.

В.С.Урусов писал: «Когда несколько различных явлений природы накладываются друг на друга, образуя одну систему, дисимметрии их складываются таким образом, чтобы сохранить максимальное количество тех элементов симметрии и/или тех частей пространства, которые являются общими для каждого явления, взятого отдельно. Количественное сходство или похожесть изменившихся элементов энтропии может быть оценено как среднеквадратичные отклонения от первоначального» [14, с.18].

Известно, что гидротермальное рудообразование всегда сопряжено с дислоцированностью пород, в которых формируется руда. Эти дислокации могут быть сколового и отрывного типов, но обязательно образуются в обстановке сжатия и разрушения первичной породной системы.

По данным В.А.Чантурия и др. [16], анализ разрушения горных пород при их квазистатическом сжатии на примере гранодиорита показал, что в интервале разрушенных частиц от 4 до 0,0625 мм на ситах Фишера – Вилера расчеты массовых процентов соответствующих отсеиваемых фракций, отстроенные в виде кумулятивных кривых, соответствуют логнормальному распределению. Эти же исследования на примере гранитов, песчаников и сланцев показывают, что для каждой породы свойственны свои параметры расчетных фракций разрушенных частиц, но внутренние распределения этих фракций подчиняются логнормальному закону распределения.

В этой связи уместно сослаться на работу В.А.Падукова [6], который для любой горной породы, подвергаемой механическому разрушению, использует главную характеристику – структурную энтропию, отражающую качественную и количественную стороны энергетики породообразования. Составные элементы структурной энтропии функционально объединены логнормальными связями и поэтому однотипны. Сама же структурная энтропия, как порода, дискретна. Следовательно, по типу структурных энтропий породы различны, что впервые позволило классифицировать их по энергоемкости разрушения.

В работе [17] приведены результаты изучения разрушенного образца гнейса с точки зрения количественной оценки возникших обломочных частиц. Проводилась съемка поверхности образца с помощью оптического и электронного микроскопов при увеличениях в 12,5; 25; 50; 100; 200; 400; 800; 1600 раз. В каждом поле изучаемой поверхности с помощью специальных трафаретов подсчитывалось количество частиц. Все подсчеты группировались по четырем классам крупности. Результат подсчета таков: каждый класс крупности содержит частицы, средний размер которых в 2 раза меньше или больше предыдущего или последующего класса соответственно. Расчет плотностных характеристик частиц в каждом из классов свидетельствует об определенном подобии в изменении крупности частиц при переходе с одного масштабного уровня на другой.

Смысл логнормального функционального распределения металла в рудах как генетической характеристики рудообразования показал А.В.Канцель [3]. Он рассматривал рудообразование как сложную по многим параметрам гидротермальную систему, для которой существует начало и конец формирования руды или парагенетической минеральной ассоциации. Оруденение функционально зависит от времени и скорости минералообразующего процесса, обусловленного его кинетической энергией, пропорциональной квадрату скорости. В результате завершения рудообразования создается минеральная ассоциация, которой

свойственна совокупность распределений концентраций металла (взятых проб) от минимального до максимального значений. На цифровой шкале концентраций наибольшее число одинаковых значений определяет максимум выборки проб, отвечающий, скорее всего, среднеарифметическому. Этот максимум характеризует некий средний параметр концентрации металла, свойственный данной руде.

Еще одной важной стороной распределения концентраций является дисперсия значений в анализируемой совокупности. При равномерном распределении металла в руде дисперсия минимальна. В случае неравномерного распределения металла дисперсия возрастает. «Таким образом, дисперсия является мерой упорядоченности в расположении частиц рудного вещества в жильной массе. Под упорядоченностью, согласно принципам термодинамики, понимается равномерное распределение вещества в рассматриваемом объеме или же его сгущение в отдельных точках. В термодинамике функция состояния системы, являющейся мерой упорядоченности системы, известна под названием энтропии. Отсюда и величину дисперсии мы можем рассматривать как функцию состояния системы, связанную с энтропией процесса» [3, с.23].

Из данного постулата следует вывод, что функция распределения металла в рудном теле через скорость процесса и термодинамическую функцию его состояния связана со всеми факторами как внешнего, так и внутреннего характера, влияющими на процесс рудообразования. Это дает основание рассматривать функцию распределения металла как одну из генетических характеристик.

Взаимосвязь распределений запасов металла как следствие генетических особенностей рудообразования была показана во многих работах [2, 4, 7, 15 и др.]. В работах С.В.Сендека [1, 10-12], изучавшего ряд золоторудных месторождений Северо-Востока России, показаны закономерные распределения концентраций золота в рудах, подчиненных логнормальным соотношениям параметров руд: частостей проб, мощностей рудных тел, продуктивностей оруденения.

Таким образом, используя закон логнормального распределения концентраций золота в руде, можно по имеющемуся банку данных опробования и известной геолого-генетической модели рудообразования выявить закономерные соотношения концентраций золота с природными типами руд, что имеет важное теоретическое и практическое значение для познания генезиса и промышленного типа месторождения.

Всякая рудообразующая гидротермальная система создается во времени и пространстве, где время – это период или скорость рудообразования, а пространство – это термодинамическая среда минералообразования в тех или иных горных породах. Истинные значения периода времени определить сложно, но ясно одно: процесс рудообразования не мгновенный, он растянут во времени и имеет определенную скорость. За этот период могут меняться энергетические характеристики процесса, что особенно характерно для вулканогенных гидротермальных месторождений. Учитывая временную изменчивость параметров, рудообразование можно считать прерывистым, дискретным, что создаст стадийность формирования руды со значительной изменчивостью ее состава, выражающейся в широкой дисперсии распределений металлов.

Вне зависимости от единого последовательного или дискретного рудообразования обнаруживается направленная изменчивость состояния или упорядочность рудообразующей системы во времени. В термодинамике мера оценки состояния или упорядочности системы называется энтропией. Поэтому в процессе становления руды или ассоциаций минералов каждому временному периоду свойственна своя упорядочность системы, выражающаяся в особенности энтропийных условий формирующейся руды. Отсюда вытекает важный вывод о временной изменчивости рудообразующей энтропии по типу кинетического энергетического процесса для движущегося тела (кристаллизация и рост минералов, растворение и перекристаллизация ранних парагенезисов и др.).

Физическое определение энергетического состояния энтропии зависит от квадрата скорости происходящего процесса: $E = kmv^2/2$, где k – постоянная Больцмана; m – масса вещества; v – скорость процесса. Если энергетическое состояние процесса стабильно, то изменчивость скорости повлечет за собой изменение массы, пропорциональное логнормальному распределению. В случае золоторудных месторождений масса золота обычно определяется как концентрация или содержание его в руде в граммах на тонну. Следовательно, на логнормальной (двоичной) шкале концентраций золота в руде можно выявить стабильные уровни содержаний золота, свойственные данному состоянию энтропии. Чем значительнее изменение условий энтропии, тем разнообразнее будут минеральные парагенезисы, тем разнообразнее условия концентрации полезного компонента, создающие дисперсии распределения металлов. Следовательно, дисперсия концентраций золота является величиной, пропорциональной квадрату скорости минералообразования, и генетическим показателем энергетической характеристики рудообразующего процесса.

Дисперсия служит мерой отклонения содержаний металлов от среднеарифметической величины. Если рудные минералы распределены в рудном теле равномерно, то дисперсия будет небольшой. В случае неравномерного распределения значение возрастет. Следовательно, дисперсия может рассматриваться как функция состояния системы, связанной с энтропией процесса. Окончательный вывод: «распределение металла в рудном теле через скорость процесса и термодинамическую функцию его состояния (процесса – *С.С.*) связано со всеми факторами, влияющими на процесс рудообразования» [3, с.23]. Это позволяет рассматривать функцию распределения металла как одну из генетических особенностей характеристик, воплощающих в себе важнейшие особенности процесса рудообразования, и служащую количественным выражением этих особенностей, взятых во взаимодействии и взаимосвязи.

Анализ генетических особенностей рудообразования, на основе теоретически рассмотренных постулатов распределений металлов, должен исходить из того, что главной характеристикой руд является концентрация или содержание металлов в руде и дисперсия этих содержаний. Однако полноценный геологический анализ и расшифровка полученных распределений должны рассматриваться и анализироваться только для конкретного объекта на соответствующем масштабном уровне: элементов – в минерале, минералов – в руде, руд – на месторождении, месторождений – в рудном узле и т.п. Главным фактурным материалом для рассмотрения тех или иных закономерностей распределений металлов являются геологические характеристики минерального состава руд, морфологические особенности рудных тел и данные их опробования, полученные в процессе поисковых, разведочных и эксплуатационных работ.

Гидротермальное рудообразование, как правило, формируется в условиях меняющихся физико-химических и термодинамических обстановок, что обуславливает появление нескольких парагенетических минеральных ассоциаций, составляющих природную руду. Отдельно взятый минеральный парагенезис создается в условиях ограниченных и оптимальных параметров (P, T, pH и др.), которым соответствует определенная минеральная ассоциация. Эта ассоциация характеризуется конкретной минеральной формой присутствия металла и его связью с сопутствующими минералами парагенезиса, что обуславливает определенный уровень концентрации металла в этом парагенезисе. Следовательно, по совокупности анализируемых проб данного рудного тела можно судить о характере распределения количества проб по уровням концентраций металла и выявить оптимальный уровень концентрации металла, свойственный данному парагенезису. Этому значению будет соответствовать максимальное число проб (частость проб), приходящееся на определенный уровень (класс) содержаний металла в руде.

Методические рекомендации по обработке и анализу материалов опробования золоторудных месторождений значительны по объему и не могут быть приведены в настоящей

статье. Интересующихся отсылаем к опубликованным работам [8, 10, 11]. Здесь же рассмотрим принципиальные положения анализа распределений концентраций золота в рудах на основе ранее изложенных положений.

Анализируются распределения золота в рудах, которые представлены концентрацией или содержанием золота в единице руды, за которую принята тонна. Обозначим концентрацию *c*, единица – грамм на тонну. Количество анализируемых проб обозначим *n*. Распределение *n*, или частость проб по двоичной (логнормальной) шкале концентраций золота, выявляет один или более максимумов, отвечающих превалирующим рудным парагенезисам в данном рудном теле. В качестве примера можно сослаться на работу сотрудников ЦНИГРИ [7], изучавших распределение частости проб в Ново-Кузнецовской жиле месторождения Дарасун. На шкале концентраций золота обнаружились два частотных максимума, отвечающих золотокварцевой и золотосульфидной продуктивным минеральным ассоциациям, составляющим жильную руду.

Второй важный количественный параметр золота в руде составляет продуктивность, или линейный запас золота. Этот параметр относится к конкретной пробе, каждая из которых имеет свой объем. При одних и тех же концентрациях золота в двух пробах количество золота в большей пробе будет больше во столько раз, во сколько объем большей пробы превышает меньшую. Объем каждой пробы определяется произведением поперечного сечения на длину пробы. Поскольку размеры поперечных сечений бороздовых проб одинаковы, продуктивность, или линейный запас, всегда определяется как произведение *mc*, где *m* – длина пробы, единица – метр. Продуктивность, или линейный запас, определяется как метрограмм (м·г/т), где длина пробы *m* фактически отображает не только линейный, но и объемный показатель взятой пробы. В анализируемой выборке проб для каждого класса двоичной шкалы концентраций золота определяются: число проб *n*, длины проб *m* и их сумма; продуктивности золота *mc* и их сумма. В случае большого числа проб все суммарные значения нужно принять за 100 % и распределить по классам концентраций золота на анализируемой шкале. В итоге составляются сводные таблицы результатов опробования и графики распределений по классам концентраций (в процентном выражении) суммы *n*, *m*, *mc* [8].

Полученные расчетные данные результатов опробования позволяют выявить важные генетические особенности руд. Частость распределения проб *n* позволяет определить наиболее широко проявленные продуктивные минеральные ассоциации, формирующие руду. Каждый максимум должен рассматриваться как природная концентрация золота, соответствующая выделенным классам шкалы концентраций. Если положение максимума асимметрично, возрастает его дисперсия за счет выполаживания кривой распределения в сторону более высоких классов и, более того, на этом выполаживании обнаруживается незначительный максимум в одном из классов шкалы. Это значит, что существует не одна, а несколько дополнительных стадий рудообразования. Новый максимум, хотя и меньший по значению, также отражает проявление стадии минерализации со своим уровнем концентрации золота в руде. Поскольку частость проб по классам концентраций золота отображается в процентах, параметры амплитуд максимумов на графиках будут отображать превалирующее значение того рудного минерального парагенезиса, амплитуда которого является большей. По параметрам амплитуд можно судить о долевом участии того или иного рудного парагенезиса в общем частотном распределении проб анализируемой руды.

В качестве примера можно проиллюстрировать частости распределений проб из эксплуатационных блоков Игуменовского жильного золоторудного месторождения с бедной, рядовой и богатой рудой. Выполненное распределение проб (рис.2, *а*) показало, что в разных блоках различных жил отчетливо фиксируются три однотипные продуктивные минеральные ассоциации, из которых наиболее бедная руда образована ранним парагенезисом так называемого серого кварца; наиболее продуктивная, формирующая рядовые руды, свя-

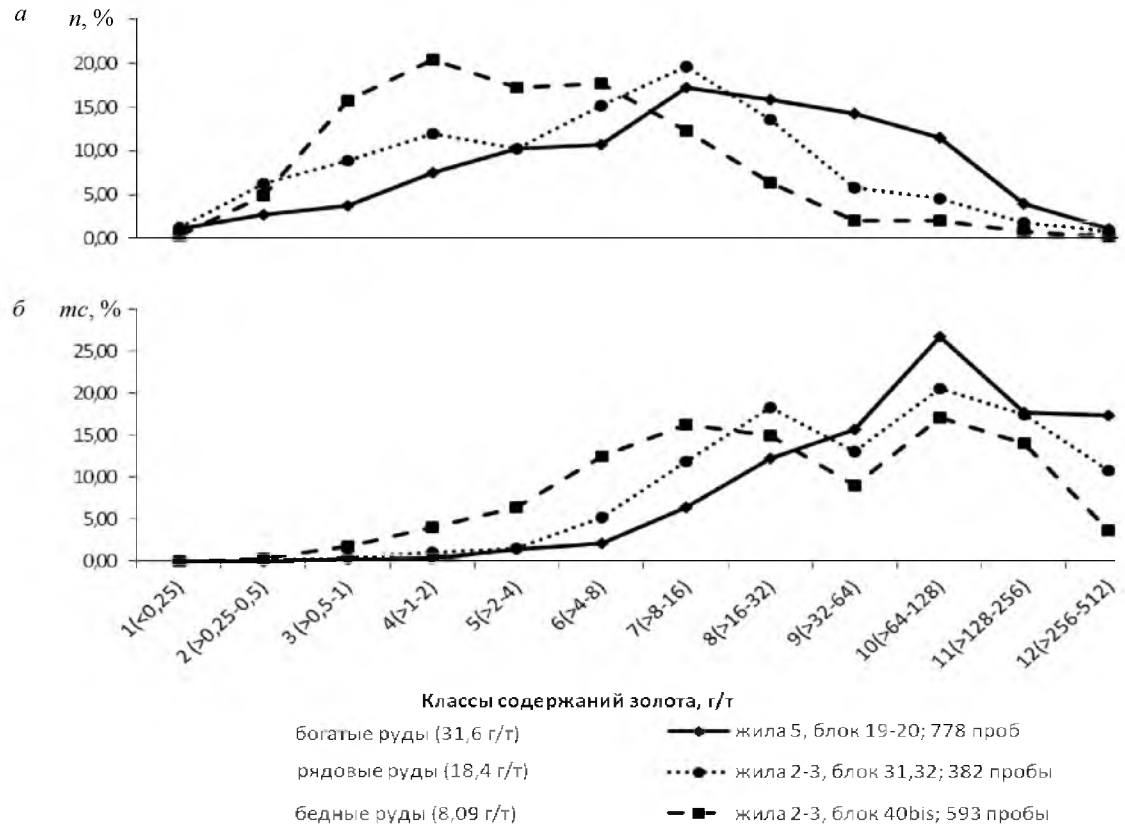


Рис.2. Графики распределений частостей проб (*а*) и продуктивностей золота (*б*) в эксплуатационных блоках Игуменовского золоторудного месторождения на логнормальной шкале концентраций золота

зана со становлением молочно-белого жильного кварца, а наиболее богатые руды образованы в процессе деформации жильного тела, перераспределения и перекристаллизации жильных и рудных минералов, в том числе перекристаллизованного крупного золота [15].

В каждом из эксплуатационных блоков относительные соотношения трех продуктивных ассоциаций изменяются. Бедные руды представлены ассоциацией ранней и средней стадий минерализации, в то время как богатые руды, составляющие жильные тела, – это в основном широко проявленная в объеме жил средняя золотокварцевая с сульфидами ассоциация, осложненная проявлениями поздней продуктивной ассоциации свободного и крупного золота в местах морфологически усложненных участков жильных тел.

Распределение продуктивностей *mc* на двоичной шкале концентраций свидетельствует о доле золота, приходящейся на ту или иную стадии рудообразования. Это дает основание для выделения наиболее продуктивного парагенезиса минералов в рудообразующем процессе.

В эксплуатационных блоках Игуменовского месторождения (рис.2, *б*) распределение соотношений продуктивностей *mc* в этих же блоках отчетливо свидетельствует о главенствующей роли средней продуктивной минерализации в рядовых и богатых по содержанию золота рудах. Поэтому еще на ранних стадиях изучения Игуменовского золоторудного месторождения обращалось внимание на то, что индикаторным минералом среди сульфидов промышленных руд является галенит, свойственный этой продуктивной золотокварцевой ассоциации.

Полученные графики распределений продуктивностей золотого оруденения позволяют в первом приближении оценить и технологические особенности руд. По результатам эксплуатационных работ были определены два технологических типа руд – связанного и сво-

бодного золота, что обусловило комбинированное гравитационное с амальгамацией и флотационное с цианированием извлечение золота. Недооценка соотношений связанного и свободного золота в разведуемом блоке жилы существенно влияла на оценку возможности извлечения крупного золота, тем более при постоянном урезании концентрационных значений золота в ураганных пробах при подсчете эксплуатационных запасов.

Приведенное распределение продуктивностей золота (рис.2, *б*) свидетельствует, что во всех блоках есть большая доля свободного и крупного золота. Многолетняя практика исследований руд золотосодержащих кварцевых жил позволяет уверенно утверждать, что значения концентраций золота в жилах от 50 г/т и более (9-й класс шкалы) гарантируют присутствие пусть даже мелкого, но свободного золота. Концентрация свыше 100 г/т (10-й класс шкалы) свидетельствует, что в руде возрастает крупность свободного золота и такое золото можно обнаружить в виде зерен разного размера при просмотре образцов руды. Классы 11-й и 12-й шкалы концентраций золота характеризуют наличие крупного и даже самородкового золота. Площадь под графиками продуктивностей золота (рис.2, *б*) фактически составляет 100 % запаса золота для каждого блока. Поэтому с 9-го по 12-й классы шкалы доля свободного и крупного золота в блоках на графиках составляет от 40 до 60 %. По данным Е.С.Мокрушиной [5], изучавшей технологические схемы извлечения золота из руд Игуменовского месторождения на руднике им. Белова, где опробованию подверглись жилы 2-3 и 5, включая указанные блоки, «опытами было установлено, что отсадкой руды, крупность которой изменялась от 6 до 0,6 мм, извлечение золота в гравитационный концентрат повышалось с 44 до 65 %. В амальгаму из этих гравитационных концентратов соответственно извлекалось 40-64 % золота» [5, с.26].

При разведке и эксплуатации Игуменовского месторождения требования подсчета запасов золота ограничивали уровень концентраций богатых проб 100 г/т. В последующем главным геологом В.И.Бодягиным [15] по результатам извлечения золота на фабрике и оперативным подсчетом запасов было проведено сопоставление повариантных подсчетов запасов на стадии разведки, эксплуатации и фабричных данных, принятых за 100 %. Данные разведочных работ с учетом всех проб без ограничения значений концентрации золота по отношению к фабричным пробам составили 93,6 %, а с урезанием богатых проб – 72,4 %. Эксплуатационное опробование с учетом всех проб по сравнению с разведочным составило 100,6 %, а с учетом ограничения до 100 г/т – 78,5 %. Следовательно, ограничение концентраций золота до 100 г/т фактически исключает свыше 20 % крупного золота, которое отчетливо демонстрируют графики продуктивностей в классах с 10-го по 12-й шкалы концентраций золота (рис.2, *б*), на долю которых и приходятся отмеченные расхождения.

Рассмотрим распределение длин проб *m*. Как отмечалось ранее, каждый интервал взятой бороздовой пробы (длина пробы), при ее постоянном поперечном сечении, свидетельствует о ее долевом участии в объемном выражении опробованного рудного тела. Отсюда каждый класс двоичной шкалы концентраций золота по сумме длин проб, выраженных в процентах, к общей длине всех проб характеризуется объемной долей данного класса шкалы в рудном теле. На этом основании по характеру распределений длин проб можно судить о долевом участии продуктивных минеральных ассоциаций в формировании рудного тела, определять объемы наиболее минерализованных руд (рудных столбов) в рудном теле, оценивать вероятность обнаружения наиболее богатых золотом руд при совпадении общего характера распределений продуктивностей и длин проб в однотипных месторождениях. Это особенно важно при учете ураганных проб или самородкового золота.

В заключение отметим, что логнормальное распределение концентраций золота определяется генетической природой золотого жильного гидротермального рудообразования. Используя анализ распределений концентраций золота в рудах, можно получить важную дополнительную информацию о генезисе оруденения и его промышленной значимости на стадии геологоразведочных и эксплуатационных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вахрушева А.П.* Внутрирудный метаморфизм и природные типы золотосодержащих руд / А.П.Вахрушева, С.В.Сендек // Записки Горного института. 2011. Т.194. С.60-67.

2. Золоторудные месторождения России / Ред. М.М.Константинов. М.: Акварель, 2010. 349 с.

3. *Канцель А.В.* Функция распределения металла в рудах как генетическая характеристика процесса рудообразования // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1988. № 10. С.18-30.

4. Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России / Ред. М.М.Константинов, И.С.Розенблюм, М.З.Зиннатуллин. Комитет по геологии и использованию недр РФ, Северо-Восточный геологический комитет. М.-Магадан, 1992. 140 с.

5. *Мокрушина Е.С.* Разработка технологической схемы для золотосодержащей руды рудника им.Белова // Тр. ВНИИ-1. Раздел 1V. Обогащение и металлургия. 1956. Вып.16. С.21-35.

6. *Падуков В.А.* Энтропийный закон разрушения горных пород // Записки Горного института. 2007. Т.168. С.48-50.

7. *Перец В.А* О взаимосвязи содержаний золота, серебра и других компонентов руд и мощностей рудных тел Арасунского месторождения / В.А.Перец, Д.А.Тимофеевский, Н.И.Эпов // Тр. ЦНИГРИ. 1969. Вып.86. Ч.1. С.44-67.

8. Прогнозно-поисковые модели месторождений полезных ископаемых различных формационных типов: Метод. указания для самостоятельной работы / Сост. С.В.Сендек; Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2009. 25 с.

9. *Разумовский Н.К.* Характер распределения содержаний металлов в рудных месторождениях // Докл. АН СССР. 1940. Т.28. № 9. С.815-817.

10. *Сендек С.В.* Структура запасов металла как следствие генетических особенностей рудообразования // Записки Санкт-Петербургского горного ин-та. 1993. Т.137. С.28-38.

11. *Сендек С.В.* Проявление энтропийного закона распределения массы золота при формировании промышленного оруденения //Записки Горного института. 2009. Т.183. С.112-126.

12. *Сендек С.В.* Закономерности распределений золота в рудах месторождений, подверженных процессам метаморфизма // Материалы конф. 100-летия Н.А.Шило / ИГЕМ РАН. М., 2013. Т.1. С.168.

13. Справочник по математическим методам в геологии / Д.А.Родионов, Р.И.Коган, В.А.Голубева и др. М.: Недра, 1987. 335 с.

14. *Урусов В.С.* Эволюция Земли и Космоса в свете концепции симметрии-дисимметрии // Смирновский сборник – 2007. М.: Изд-во МГУ, 2007. 338 с.

15. *Фирсов Л.В.* Структура, морфология, минералогия и оруденение Игуменовского золоторудного месторождения // Тр. ВНИИ-1, сер. геология. 1958. Вып.33. С.191-262.

16. *Чантурия В.А.* Наночастицы в процессе разрушения и вскрытия геоматериалов / В.А.Чантурия, К.Н.Трубецкой, С.Д.Викторов, И.Ж.Бунин; ИПКОН РАН. М., 2006. 216 с.

17. *Santarelli F.J.* Failure of three sedimentary rocks in triaxial and hollow cylinder compression tests // F.J.Santarelli, E.T.Brown // Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 1989. Vol.124. N 5. P.401-413.

REFERENCES

1. *Vakhrusheva A.P., Sendek S.V.* Vnutrirudnyi metamorfizm i prirodnye tipy zolotosoderzhashchikh rud (*Intra-ore-forming metamorphism and natural types of gold-bearing ores*). Zapiski Gornogo instituta. 2011. Vol.194, p.60-67.

2. Zolotorudnye mestorozhdeniya Rossii (*Gold-bearing deposits of Russia*). Edit. M.M.Konstantinov. Moscow: Akvarel', 2010, p.349.

3. *Kantsel' A.V.* Funktsiya raspredeleniya metalla v rudakh kak geneticheskaya kharakteristika protsessa rudoobrazovaniya (*Function of metal distribution in ores as a genetic characteristic of the ore-forming process*) Izv. AN SSSR. Ser. geol. 1988. N 10, p.18-30.

4. Mnogofaktornye prognozno-poiskovye modeli mestorozhdenii zolota i serebra Severo-Vostoka Rossii (*Multifactor prognostic-prospecting models of gold and silver deposits of the Russian North-East*). Editors: M.M.Konstantinov, I.S.Rozenblyum, M.Z.Zinnatullin. Moscow-Magadan, 1992, p.140.

5. *Mokrushina E.S.* Razrabotka tekhnologicheskoi skhemy dlya zolotosoderzhashchei rudy rudnika im.Belova (*Flow-sheet design for gold-bearing ore of the Belov mine*). // Trudy VNII-1, part IV. Obogashchenie i metallurgiya. 1956. Iss.16, p.21-35.

6. *Padukov V.A.* Entropiinyi zakon razrusheniya gornykh porod (*Entropy law of rock disintegration*). Zapiski Gornogo instituta. 2007. Vol.168, p.48-50.

7. *Perets V.A., Timofeevskii D.A., Epov N.I.* O vzaimosvyazi soderzhanii zolota, serebra i drugikh komponentov rud i moshchnostei rudnykh tel Arasunskogo mestorozhdeniya (*On the relationship between the content of gold, silver, and other components and thickness of ore-bodies in the Arasunskoye deposit*). Trudy TsNIGRI. 1969. Iss.86. Part 1, p.44-67.

8. Prognozno-poiskovye modeli mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh razlichnykh formatsionnykh tipov (*Prognostic-prospecting models of mineral deposits of different formation types*). Written by S.V.Sendek; Natsional'nyi mineral'no-syr'evoi universitet «Gornyi». St Petersburg, 2009, p.25.

9. *Razumovskii N.K.* Kharakter raspredeleniya soderzhanii metallov v rudnykh mestorozhdeniyakh (*Distribution pattern of metal content in ore deposits*). Dokl. AN SSSR. 1940. Vol.28. N 9, p.815-817.

10. *Sendek S.V.* Struktura zapasov metalla kak sledstvie geneticheskikh osobennostei rudoobrazovaniya (*Structure of metal reserves as a consequence of genetic peculiarities of the ore-forming process*). Zapiski Sankt-Peterburgskogo gornogo instituta. 1993. Vol.137, p.28-38.

11. *Sendek S.V.* Proyavlenie entropiinogo zakona raspredeleniya massy zolota pri formirovanii promyshlennogo orudeneniya (*Manifestation of the entropy law in distribution of the gold mass during the minable ore forming*). Zapiski Gornogo instituta. 2009. Vol.183, p.112-126.

12. *Sendek S.V.* Zakonomernosti raspredelenii zolota v rudakh mestorozhdenii, podverzhennykh protsessam metamorfizma (*Regular patterns in distribution of gold in ore deposits that are prone to metamorphism processes*). Materialy konf. 100-letiya N.A.Shilo. IGEM RAN. Moscow, 2013. Vol.1, p.168.

13. *Rodionov D.A., Kogan R.I., Golubeva V.A.* et al. Spravochnik po matematicheskim metodam v geologii (*Reference book for mathematical methods in Geology*). Moscow: Nedra, 1987, p.335.

14. *Urusov V.*S. Evolyutsiya Zemli i Kosmosa v svete kontseptsii simmetrii-disimmetrii (*Evolution of the Earth and the Universe in view of the symmetry-dissymmetry concept*). Smirnovskii sbornik – 2007. Moscow: Izd-vo MGU, 2007, p.338.

15. *Firsov L.V.* Struktura, morfologiya, mineralogiya i orudenenie Igumenovskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (*Structure, morphology, mineralogy and ore-forming processes of the Igumenovskoye gold ore deposit*). Trudy VNII-1, seria geologiya. 1958. Iss.33, p.191-262.

16. *Chanturia V.A., Trubetskoy K.N., Viktorov S.D., Bunin I.Zh.* Nanochastitsy v protsesse razrusheniya i vskrytiya geomaterialov (*Nanoparticles in the process of disintegration and development of geomaterials*). IPKON RAN. Moscow, 2006, p.216.

17. *Santarelli F.J., Brown E.T.* Failure of three sedimentary rocks in triaxial and hollow cylinder compression tests. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 1989. Vol.124. N 5, p.401-413.

THEORETICAL JUSTIFICATION FOR ANALYZING DISTRIBUTION OF GOLD CONCENTRATIONS IN ORES OF HYDROTHERMAL GOLD DEPOSITS

S.V.SENDEK, *PhD in Geological and Mineral Sciences, sendek-sv12@yandex.ru*
K.E.CHERNYSHEV, *Postgraduate student, mekosoy@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia

The article covers theoretical justification for the analysis of the regular pattern of gold distribution within ores of hydrothermal gold deposits. The analysis is based on principles of entropy dependence of gold concentration distribution variability in different physical-chemical conditions of ore-forming processes providing certain gold-bearing parageneses of ore minerals. At this rate, distribution of gold concentrations in an ore paragenesis is subordinated to the lognormal rule, and, subsequently, on the binary (lognormal) scale of gold concentrations this certain paragenesis of ore minerals is reflected as the frequency maximum of one or another class of this scale. Using some methodical steps in processing channel sampling data, it is possible to reveal or confirm the presence of several gold-bearing mineral associations and compare their volumetric and quantitative ratios in ore-bodies and blocks of mining. Results of the performed analysis of gold concentration distribution in ores of different hydrothermal gold deposits, including the polystadial ones, prove the validity of this technique for estimation of the gold distribution in ores with the purpose of carrying out supplementary study of the genetic nature of ores, and their mining feasibility.

Key words: gold concentrations, lognormal distribution, channel sampling, frequency of samples, ore-body thickness, specific capacity or the gold linear reserve.