

**С.В.СЕНДЕК**, канд. геол.-минерал. наук, профессор, *grmpi@spmi.ru*

**Я.Ю.БУШУЕВ**, аспирант, *ofiolit718@gmail.com*

**К.Е.ЧЕРНЫШЕВ**, аспирант, *mckosoy@mail.ru*

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург*

**S.V.SENDEK**, PhD in geol. & min. sc., professor, *grmpi@spmi.ru*

**Ya.Yu.BUSHUEV**, post-graduate student, *ofiolit718@gmail.com*

**K.E.CHERNYSHEV**, post-graduate student, *mckosoy@mail.ru*

*National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg*

## ГЕНЕЗИС РАСПРЕДЕЛЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ И МАССОВЫХ ДОЛЕЙ ЗОЛОТА В РУДАХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Особенности распределений концентраций и массовых долей золота в рудах промышленных месторождений являются индикаторными признаками генетической природы оруденения. Использование выявленных распределений позволяет по-новому оценивать генезис и природу промышленного оруденения.

**Ключевые слова:** месторождения золота, масса золота, распределения массы золота и числа проб, типы руд.

## GENESIS OF THE DISTRIBUTION OF CONCENTRATION AND THE MASS SHARES OF GOLD IN ITS ORES IN DIFFERENT COMMERCIAL TYPES OF GOLD DEPOSITS

Peculiarities in distribution of concentrations and mass shares of gold in its ores in recoverable gold deposits should be considered as indicators of the genetic nature of gold mineralization. Practical application of the revealed distribution allows the new estimating of the nature of those gold concentrations.

**Key words:** gold deposits, weight of gold, distribution of weight and number of samples, native types of ores.

**Введение.** Исследования качественных и количественных особенностей распределения золота в рудах промышленных месторождений составляют важную сторону не только изучения и оценки собственно промышленной значимости оруденения, но и выявления генетической природы рудообразования [7]. Многолетние исследования промышленных руд различных по формационно-генетической природе золоторудных месторождений Северо-Востока России позволили четко распознавать главные стадийные золотосодержащие минеральные

ассоциации и их количественные соотношения по массе золота в рудах. Это, в свою очередь, дало возможность оценивать продуктивность золоторудных минеральных ассоциаций, определять их объемные и структурные параметры в рудных телах и тем самым методически правильно осуществлять геологоразведочные работы либо критически оценивать ранее выполненные заключения.

Изучая и систематизируя материалы по опробованию разнотипных руд хорошо разведанных и эксплуатируемых месторож-

дений типа минерализованных зон с упорными прожилково-вкрапленными сульфидсодержащими и золото кварцевыми рудами (Нежданинское, Наталкинское месторождения), месторождений жильного золото кварцевого и дайкового типов (Игуменовское, Светлинское, Штурмовское, Утинское и др.), удалось выявить новые, ранее не отмеченные, общие для месторождений разных формационных типов закономерности распределений концентраций и массы золота в пробах руд.

В современной геологической практике основополагающей мерой при раскрытии и анализе закономерностей распределения металлов в рудном теле, в нашем случае золота, является его содержание. Именно содержание металла характеризует степень богатства руд, дает возможность типизировать месторождения, рудные тела, отдельные блоки в пределах рудных тел, позволяет оконтуривать промышленные и забалансовые руды, подсчитывать запасы.

Помимо чисто прикладных задач, содержание металла в руде характеризует генетическую сторону рудообразования. Как было показано А.В.Канцелем [3] и позднее нами [7], функциональная аппроксимация содержаний металла в руде дает возможность получить ряд кривых распределения, отражающих скорость процесса рудообразования и его термодинамические условия.

Если в процессе формирования руд какого-то типа термодинамические условия остаются относительно стабильными, то взятые пробы концентраций металла образуют на градуированной шкале содержаний нормальную или логарифмическую кривую. Значения дисперсий содержания металлов во всех пробах будут незначительными.

Если же рудное тело сформировано в процессе многостадийного оруденения с изменяющимися во времени термодинамическими условиями рудообразования, то общая картина частотного распределения проб будет весьма сложной: в виде кривой, растянутой по градуированной шкале содержаний, иногда с несколькими максимумами, что отражает большую дисперсию начальных и конечных условий среды рудообразования.

Максимумы частотного распределения проб и дисперсий для различных рудных тел и месторождений золота широко используются в практике геологоразведочных работ. Прежде всего, эти данные необходимы для составления вероятностно-статистических моделей распределения золота в рудах, используемых для выявления оптимальных плотностей разведочно-поисковых сетей, прогнозирования ураганных проб, самородного золота крупного размера и так далее.

При всей важности использования данных частотного распределения проб, взятых из рудных тел и раскрывающих их внутреннее неоднородное строение как следствие совмещения разнородных минеральных ассоциаций, всегда возникает вопрос: из каких составных парагенетических ассоциаций складывается усредненная концентрация золота в рудном теле, какая доля золота в этой неоднородности является преобладающей по массе и чем она представлена?

Для месторождений россыпного золота на стадии как поисково-разведочных, так и эксплуатационных работ всегда анализируется гранулометрический состав поднятого золота и масса гранулометрических фракций, что дает однозначный ответ о генетическом и промышленном типе россыпей.

В коренных месторождениях размер зерен золота по фракциям и их соотношения по массе определяются по данным технологического опробования природных типов руд с целью выработки рациональной схемы извлечения золота. После специальных минералогических и геолого-структурных исследований выявляется общая картина распределения золота в рудах, что позволяет раскрывать закономерности размещения промышленного оруденения на месторождениях и в их рудных телах.

Вместе с тем проведенные технологические исследования руд коренных месторождений золота позволяют охарактеризовать их тип и особенности с точки зрения вещественного состава и форм нахождения золота. Эти данные не раскрывают временные, стадийные, морфологические и количественные особенности накопления массы

золота при изменяющейся термодинамической обстановке рудообразования, не отвечают на вопросы, как происходит преобразование золота под действием внутрирудных метаморфических явлений и какие процессы управляют локализацией золота в рудах.

Чтобы решить поставленные задачи, необходимо изучить количественные соотношения массы золота, приходящейся на каждый временной интервал рудообразующего процесса. В коренных месторождениях такой величиной является метрограмм, отражающий для крутопадающих рудных тел – линейный, а для пологозалегающих тел – вертикальный запас золота. Эта величина, хотя и является взвешенной, определяет количество золота, приходящегося на единицу площади рудного тела, или продуктивность золота в данном сечении рудного тела.

Распределение числа проб  $n$  и метрограммов золота  $mc$  выполнялось нами в координатах: абсцисса – градуированная логарифмическая нормальная или двоичная шкала классов содержаний золота в пробах  $c$ ; ордината – величины  $n$  и  $mc$ , выраженные в процентах.

Во всех исследованиях принята следующая шкала классов содержаний:

Номер класса	Концентрация золота $c$ в классе, г/т
1	< 0,25
2	0,25-0,5
3	0,5-1
4	1-2
...	...
10	64-128
11	128-256
12	256-512

В каждый класс градуированной шкалы помещается то значение метрограммов, которое соответствует взятому значению содержания золота. Таким образом, на единой градуированной шкале содержаний отстраивается кривая частотного распределения проб – число проб на каждый выбранный класс  $n$ , кривая или гистограмма количественных значений  $mc$  в каждом классе – распределение массы золота. В случае большого числа проб  $n$  и значений  $mc$  целесообразно отображать их в процентах к общему количеству.

Такова техническая, формальная часть исследовательских работ, но она обязательно должна быть выполнена для однотипного по времени формирования и вещественному составу рудного тела или его составного компонента. Следовательно, геологическое изучение исследуемого объекта, его оконтуривание, опробование, изучение вещественного состава являются первоосновой для последующего истолкования полученных данных распределения.

**Изучение распределения массы золота в рудах жильных месторождений золотокварцевой формации.** В качестве объекта исследований выбрано Игуменовское месторождение Пионерского рудного поля Магаданской области.

Пионерский рудный узел расположен в Аян-Юряхском антиклинории мезозойского бассейна верхнего течения р. Колымы. Сложен антиклинорией песчанико-сланцевыми отложениями пермского возраста, собранными в асимметричные линейно вытянутые складки северо-западного простирания. Отложения прорваны штоками гранитоидных пород позднеюрского и мелового возраста. В северо-восточном обрамлении гранитного штока Улахан прослеживается мощная, шириной до 5 км, зона кливажирования, расланцевания и катаклаза осадочных пород, представляющая в верхнем структурном этаже отражение глубинного разлома. Пионерский рудный узел приурочен к этой зоне, в которой линейно размещены Родионовское, Клинь-Тенистое и Игуменовское золоторудные месторождения.

Игуменовское месторождение размещается в экзоконтакте массива Улахан, где линейная зона катаклаза пермских пород осложнена поперечными к ее простиранию деформациями в виде круто и полого наклоненных взбросов и взбросо-сдвигов. В результате линейные складки приобретают асимметричное и блоковое строение, шарниры складок ундулируются, осевая плоскость складки разворачивается по типу правого знака.

Золоторудные кварцевые жилы приурочены к продольным круто наклоненным сколовым трещинам в ядерной части склад-

ки. Жилы маломощны: от долей метра до 2 м. В местах сопряжений сколовых и отрывных трещин мощности жил могут возрастать до 3 м. По простиранию наиболее крупные жилы прослежены на 300-400 м, а остальные вытянуты на десятки и первые сотни метров. По падению прослежены в интервале 500 м от поверхности.

Главные рудные тела – это продольные и диагональные складки жилы. Жилы состоят главным образом из кварца, в подчиненных количествах присутствуют альбит, карбонаты, серицит с хлоритом, турмалин, апатит. Рудные минералы малочисленны в объеме жил и представлены пиритом, галенитом, встречаются арсенопирит, пирротин, сфалерит, блеклая руда, сульфосоли свинца и меди, минералы висмута, серебра.

Золото в жилах преимущественно свободное в кварце и сростаниях с сульфидами, что способствовало хорошей извлекаемости золота из руды. Несмотря на малую мощность жил, высокие концентрации золота позволили отрабатывать эти тела подземным способом на глубине до 250 м. Опыт эксплуатации месторождения выявил резко неравномерные концентрации золота в жилах, что, при малой мощности жил, заставило геологов выявлять закономерности размещения собственно промышленных руд и рудных столбов в жильных телах.

Генетические особенности жильных тел Игуменского месторождения до сего времени остаются дискуссионными. По Л.В.Фирсову [9-11], золоторудная минерализация была сформирована в позднеюрское время в связи с проявлением малых интрузий (дайки и силлы) габбро-диоритов, метаморфизирующих осадочные породы до состояния роговиков. Гранитоиды массива Улахан (их жильные дериваты) срезают и метаморфизируют золотоносные жилы. Более поздние полиметалльные проявления, связанные с гранитоидным магматизмом раннего мела, проявлены в жилах в виде поздних минеральных ассоциаций, наложенных на золотоносные руды.

По данным Е.Э.Тюковой [8], золоторудные месторождения Пионерского узла относятся к золото кварцевой формации,

сформированной в три временных этапа: ранний, соответствующий позднеюрскому дайковому магматизму, золото кварцевый; средний, соответствующий меловым гранитоидным интрузивам, редкометалльный; поздний, связанный с поздне меловыми-палеогеновыми субвулканами Охотско-Чукотского пояса, молибденовый и золото-серебряный. Все эти временные процессы сказались на итоговом составе руд месторождений Пионерского узла и, в частности, на жилах Игуменовского месторождения. Как это наглядно показал Л.В.Фирсов [10], в жильных телах обнаружены признаки эпигенетических изменений: перекристаллизация кварца и золота, перераспределение золота в объеме рудных тел, пирротинизация пирита и арсенопирита, диспергация галенита.

Таким образом, руды Игуменовского месторождения многостадийны по природе и преобразованы последующими процессами, что должно отразиться на характере распределений концентраций и массы золота в жилах.

На месторождении на протяжении 25 лет работал рудник, который отработывал наиболее крупные жильные тела. Отработка велась поблочно между горизонтами штолен и штреков из шахтных стволов. Эксплуатационные работы сопровождались систематическим опробованием подготовленных для обрушения лент жил в блоках, что позволяет изучить распределение концентраций и массы золота в жилах. В процессе эксплуатации велась непрерывная геологическая документация рудных тел и их опробование. В каждом эксплуатационном блоке кругопадающей жилы размером 50×40 м отбиралось свыше 100 проб, а с учетом подготовительных выработок объем проб эксплуатационного блока мог составить несколько сотен.

Для модельного анализа выбрана маломощная жила № 2-3, в которой были выявлены высокие концентрации золота. Взята группа смежных эксплуатационных блоков между двумя штольнями с вертикальным интервалом 40 м и общей протяженностью 150 м. Данные опробования приведены в табл.1.

Вначале анализируется достоверность полученных расчетных значений распределения концентраций золота с теоретическими значениями по классам (рис.1).

Полученные расчетные значения концентраций золота в классах не расходятся с теоретическими, они достоверны, более того, полученные значения несколько ниже теоретических средних значений, поэтому не будут завывать истинные аналитические данные.

Анализ распределений числа проб и масс золота иллюстрируется рис.2. На приведенной диаграмме график распределений частоты проб отмечен четко выраженными максимумами в классах 5 и 7 и изменениями правосторонней снижающейся части графика в классах 9 и 12. Более того, в интервале классов 13 и 14 видно резкое выполаживание графика, на что необходимо обратить внимание.

Полученные данные свидетельствуют, что анализируемая жила № 2-3 была образована в результате многостадийных минеральных золотосодержащих ассоциаций,

объемное выражение которых в жиле представлено минеральными парагенезисами классов 5, 7, 9. Это значит, что выделение по результатам документации продуктивных минеральных ассоциаций, особенно отвечающих классам концентрирования золота 7 и 9, подтверждает золотоносность жил в диапазоне классов концентраций 5-10.

Распределение масс золота в жиле свидетельствует, что в классах 5, 7, 9 сосредоточено не менее 60 % массы золота жилы. Остальное приходится на классы 12-14. Несмотря на незначительную объемную долю жилы, эти очень высокие концентрации золота не являются случайными. Их появление в жиле обусловлено закономерным распределением золота, что видно на рис.1. Следовательно, можно констатировать, что в подобных жилах 4-5 % объема руды могут содержать высокие концентрации золота классов 12-14. С точки зрения прогноза и последующего подсчета запасов золота в руде это очень важное обстоятельство, которое может быть использовано при оценке рудных жил.

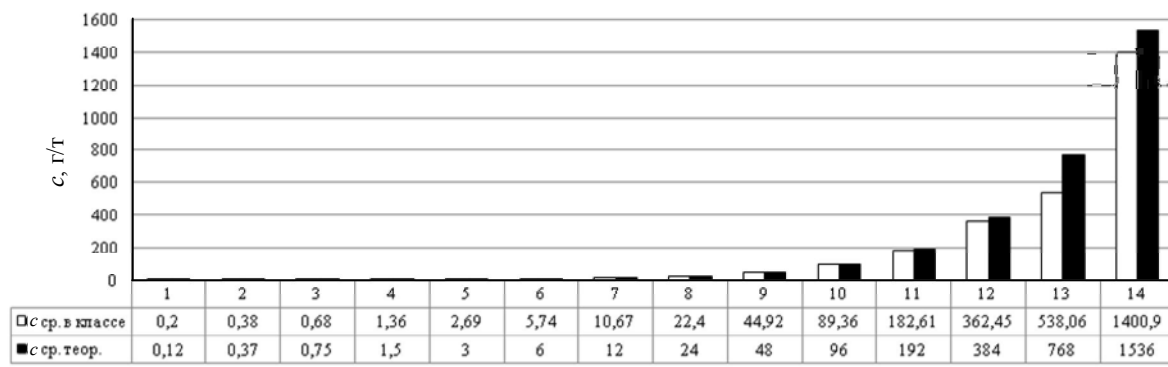


Рис.1. Сопоставление расчетных значений средних концентраций золота по классам с теоретическими средними значениями, жила № 2-3

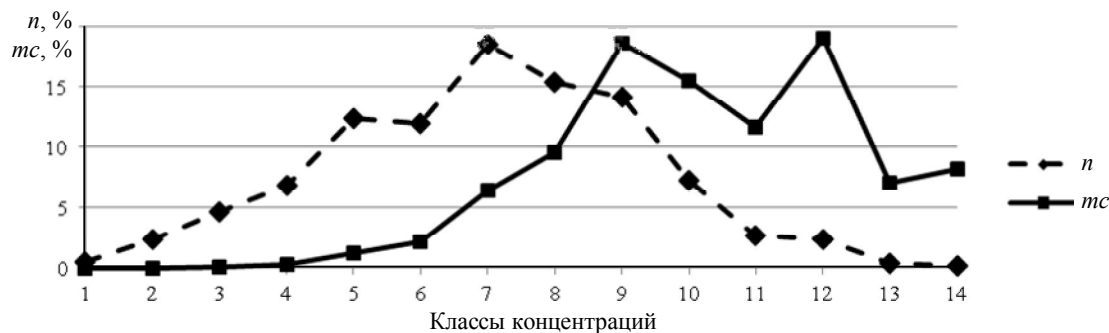


Рис.2. Соотношение распределений числа проб  $n$  и масс золота  $mс$  в жиле № 2-3

Таблица 1

Расчетные данные опробования жилы № 2-3 Игуменовского месторождения

Параметры	Класс концентраций золота														Суммарные значения
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Число проб, шт	3	13	26	38	68	66	102	85	78	40	15	13	2	1	550
Число проб, %	0,5	2,4	4,7	6,9	12,4	12	18,5	15,4	14,2	7,3	2,7	2,4	0,4	0,2	100
Длина проб <i>m</i> , м	1,9	7,6	14,6	21,4	42,4	36,5	57,2	40,9	40,3	16,5	6,1	5,1	1,3	0,6	292,4
Длина проб, %	0,6	2,6	5	7,3	14,5	12,5	19,6	14	13,8	5,7	2,1	1,7	0,4	0,2	100
Масса золота <i>тс</i> , мг/т	0,4	2,9	9,9	29,2	113,7	209,3	610,3	916,4	1809,1	1473,4	1123,1	1834	678	784,5	9596,2
Масса золота, %	0	0	0,1	0,3	1,2	2,2	6,4	9,6	18,6	15,5	11,7	19,1	7,1	8,2	100
Средние значения по классам															По рудному телу
Длина пробы <i>m</i> , м	0,63	0,58	0,56	0,56	0,62	0,55	0,56	0,48	0,52	0,41	0,41	0,39	0,63	0,56	0,53
Содержание золота по классам <i>c</i> , г/т	0,2	0,38	0,68	1,36	2,69	5,74	10,67	22,4	44,92	89,36	182,61	362,45	538,1	1400,9	32,82

Таблица 2

Расчетные данные опробования горизонта + 650 м Наталкинского месторождения

Параметры	Класс концентраций золота											Суммарные значения
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Число проб, шт	86	129	254	377	308	130	34	13	3	0	1	1330
Число проб, %	6,5	9,7	19,1	28,3	22,7	9,8	2,6	1	0,2	0	0,1	100
Длина проб <i>m</i> , м	155	206	428	639	495	203	52	22	5	0	0,7	2205,7
Длина проб, %	7	9,3	19,5	28,9	22,4	9,2	2,3	1	0,2	0	0,03	100
Масса золота <i>тс</i> , мг/т	30,4	84,8	338,9	1001,5	1418,6	1111	540,3	562,7	252,7	0	126,3	5467,4
Масса золота, %	0,6	1,6	6,2	18,3	25,9	20,3	9,9	10,3	4,6	0	2,3	100
Средние значения по классам												По рудному телу
Длина пробы <i>m</i> , м	1,8	1,6	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,7	1,7	0	0,7	1,7
Содержание золота по классам <i>c</i> , г/т	0,19	0,4	0,79	1,57	2,87	5,48	10,39	25,58	50,54	0	180,3	2,48 (с учетом ураганной пробы), 2,42



Рис.3. Изменчивость морфологии жилы № 2-3 по классам концентраций золота

Кроме того, необходимо сравнить характер изменчивости мощности жилы по классам концентрации золота. Поскольку жила № 2-3 маломощна, то все пробы отбирались на полную мощность рудного тела. Следовательно, усредненное значение длины пробы, приходящееся на тот или иной класс концентраций, в принципе иллюстрирует среднюю мощность жилы этого класса. Были рассчитаны средние значения длин проб по классам и определена средняя мощность жилы 0,53 м (табл.1). Распределение средних значений длин проб представлено на рис.3.

Как видно на диаграмме, формирование жильного тела по мощности связано с минеральными парагенетическими ассоциациями, свойственными классам концентраций с 1 по 7. Закономерно, что, согласно табл.1, именно этим классам принадлежит почти 70 % объема жилы. Начиная с класса 8 мощность жилы уменьшается, она становится ниже средней. Это означает, что оруденения этих классов не полностью распределены по мощности жилы. Причем в классах 8 и 9 эти отклонения менее существенны, на их долю приходится около 20 % объемной массы жилы. Более резкие отклонения по мощности свойственны классам 10-14, где концентрация золота наиболее высокая.

Это объясняется структурной неоднородностью жилы. В рудном теле присутствуют многочисленные внутрирудные сколовые и отрывные деформации, вдоль которых происходит брекчирование, рассланцевание, милонитизация ранних ассоциаций минеральной массы жилы. Под действием сжатия фрагменты жилы претерпевают будиниро-

вание, части жил растаскиваются по плоскости жилы, т.е. первичная мощность жилы уменьшается, а местами происходит клиновидное совмещение смежных блоков, за счет чего мощность жилы увеличивается. Именно к таким осложненным участкам жил и приурочены наиболее высокие концентрации золота.

Из этого следует важный вывод, что в процессе поисково-разведочных работ деятельность геологов должна быть направлена на выявление наиболее продуктивного минерального парагенезиса, отвечающего классам 7 и 9 содержания золота в рудах. Выявление наиболее высоких концентраций золота необходимо связывать с морфологически осложненными частями жил, в которых наиболее ярко проявлены процессы внутрирудных структурно-вещественных преобразований жилы.

На основе обработки данных опробования жилы № 2-3 была составлена модель формирования рудного тела. Жила создана в процессе многостадийного минералообразования, где ранние и наименее золотоносные парагенезисы ее минералов фактически создали рудное тело. Последующий стадийный золотоносный парагенезис связан с частичными структурно-вещественными преобразованиями ранее созданной жилы. Он достаточно широко проявлен в объеме жилы и в силу высокой золотоносности его следует рассматривать как наиболее важную продуктивную стадию оруденения. Наконец, наиболее высокие концентрации золота связаны со значительной вещественно-структурной перестройкой ранее созданной жилы, что должно служить поисковым признаком. Закономерное размещение масс золота

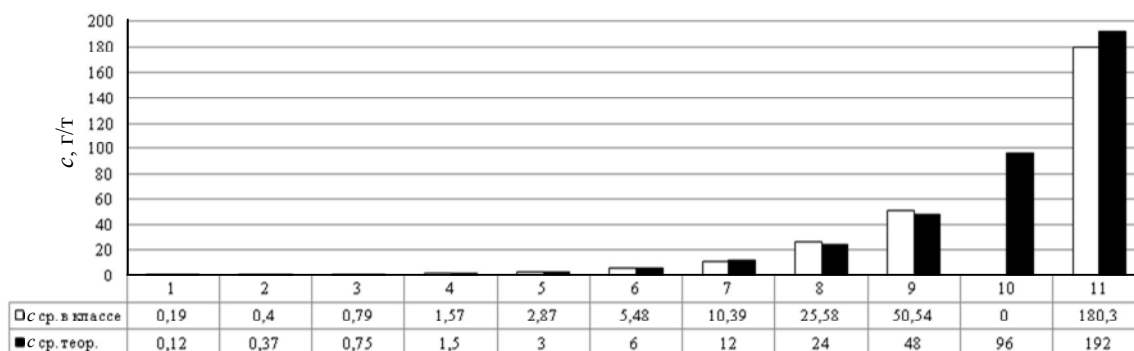


Рис.4. Сопоставление расчетных значений средних концентраций золота по классам (ряд 2) с теоретическими средними значениями (ряд 1) в штоковрке, горизонт + 650 м

по классам концентраций и их объемные соотношения в рудном теле позволяют прогнозировать количественные значения масс золота самых высоких классов в однотипных жилах еще на стадии начальных поисковых и затем разведочных работ, использовать полученные параметры при подсчете запасов руды и металла.

**Изучение распределений массы золота в штоковрковом месторождении золото-сульфидно-кварцевой формации.** В качестве аналитического материала использованы данные опробования Наталкинского месторождения, одного из крупных золоторудных месторождений России. Месторождение представляет собой очень крупный линейно вытянутый штоковрек, приуроченный к сопряженным многочисленным взбросо- и сбросо-сдвигам среди черносланцевых аргиллито-алевролитовых и песчанисто-туфовых пород [1, 2, 4, 5 и др.]. В пределах этого штоковрка вмещающие породы интенсивно дислоцированы, рассланцованы, порой милонитизированы, смяты в мелкие складки. В массе пород отчетливо видны маломощные кварцевые, кварц-карбонатные разноориентированные прожилки, сопровождаемые рассеянной вкрапленностью и прожилкованием тонких сульфидных минералов, главным образом пирита и арсенопирита.

Внешние видимые преобразования первичных пород заключаются в разной степени дислоцированности и метасоматической окварцованности, что порой придает им роговиковоподобный вид. В отдельных местах штоковрка наблюдаются весьма крупные зоны интенсивного окварцевания,

что позволяло геологам выделять их из общей массы пород как кварцево-жилные тела. Именно к таким окварцованным зонам и было привлечено основное внимание, поскольку в них отмечались наиболее высокие концентрации золота. Такие тела получили название «рудные зоны», их стали выделять как самостоятельные и наиболее кондиционные промышленные рудные тела. Именно такие рудные зоны на протяжении многих лет обрабатывались, по ним были подсчитаны запасы, которые только по этим данным позволяли оценивать месторождения как крупное.

Выделение промышленных руд всегда осуществлялось только по данным бороздового опробования штоковрка, по параллельным сечениям сплошной непрерывной борозды. Интервал бороздовой пробы составлял 1,5 или 2 м, в зависимости от конкретной геологической задачи.

Анализируемый материал представлен эксплуатационным горизонтом +650 м, где площадь опробованного штоковрка составляет примерно 500×200 м, это 10 параллельных сечений сплошной борозды. Данные опробования приведены в табл.2. Суммарное количество проб 1330 представлено интервалом опробования в 2205,7 м, что позволяет объективно оценить материал. Достоверность полученных по данным опробования значений сравнивалась со средними теоретическими концентрациями золота по классам (рис.4).

Из табл.2 и рис.4 видно, что распределение средних значений содержания золота по классам справедливо только по



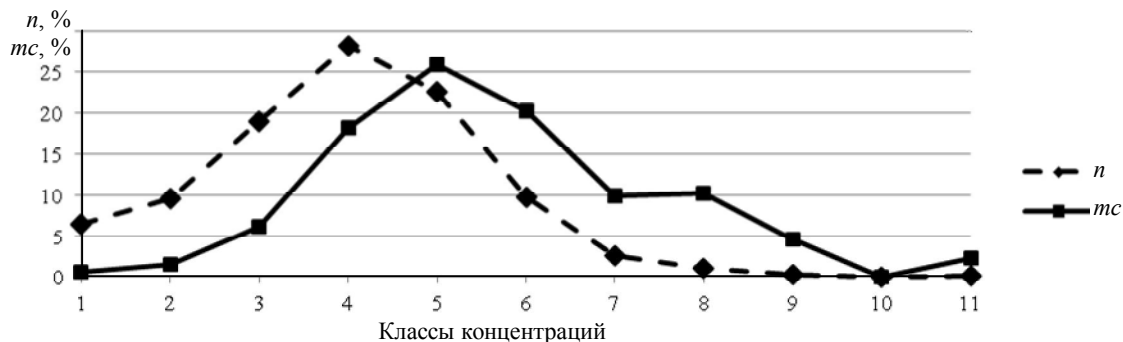


Рис.5. Соотношение распределений числа проб  $n$  и масс золота  $mc$  в рудном штокверке, горизонт + 650 м

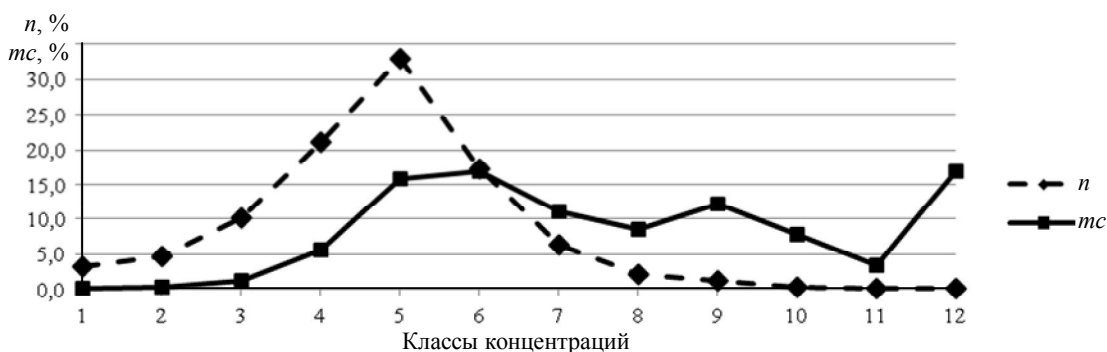


Рис.6. Соотношение распределений числа проб  $n$  и масс золота  $mc$  в рудной зоне 3, блок между горизонтами +750 и +700 м

класс 9 включительно. На этом интервале средние расчетные концентрации близки с теоретическими. Поэтому достоверный анализ может быть применен только для этого интервала классов. Класс 10 выпадает из общей закономерности, а класс 11, содержащий одну пробу из 1329, следует рассматривать как случайное явление. Пробы подобного вида рассматриваются как ураганные, и их оценка составляет задачу особого рода.

Характер распределения числа проб  $n$  (рис.5) фактически обнаруживает одномодальный максимум для всех проб, приходящийся на класс 4. Именно с этим максимумом связана главная масса золота руд штокверка. Однако формирование оруденения этого формационного типа далеко не так просто.

Прежде всего обращает на себя внимание, что этот максимум характеризуется значительной дисперсией в классах 1-9. Такая амплитуда дисперсии однозначно указывает на то, что оруденение не может быть сформировано в одну стадию, поскольку вариации термодинамических условий ста-

дийного рудного минералообразования обычно выражаются дисперсиями в пределах трех-четырех классов шкалы. Данный тип распределений (рис.5) иллюстрирует эффект многократного преобразования ранее созданного штокверкового прожилково-вкрапленного оруденения за счет проявления менее масштабных в объеме штокверка минерализационных стадий, в том числе и не обязательно золотоносных, которые так или иначе влияли на первичные руды в виде внутрирудного метаморфизма и дополнительной золотоносности.

Факт многостадийности золотого оруденения можно проиллюстрировать на примере наиболее крупной рудной зоны 3. В блоке между горизонтами +750 и +700 м взят фрагмент зоны, который проанализирован 1527 пробами с общим интервалом опробования 2669,9 м. В этом блоке средняя концентрация золота составила 6,04 г/т. Распределение проб и микрограммов золота представлено рис.6, на котором отчетливо выражена одномодальность распределения числа проб с дисперсией концентраций золота классов 1-12. Распределение микро-

граммов золота обнаруживает максимумы в классах шкалы 5, 6, 9 и 12. С максимумом классов 5, 6 шкалы распределений связана главная в объеме зоны 3 промышленная прожилково-вкрапленная пирит-арсенопиритовая минерализация, формирующая штокверк месторождения. В объеме зоны 3 на нее приходится более 50 % валового золота.

Максимум в классе 9 принадлежит интенсивно метасоматически окварцованным и преобразованным первичным прожилково-вкрапленным рудам, с теневыми реликтовыми включениями в кварцевой массе остатков первичной руды, с относительно меньшим по объему содержанием сульфидов. Последние распределены в виде макроскопически различимых зерен и тонких прожилков с новообразованным кварцем в виде пирита, арсенопирита, иногда галенита, сфалерита, халькопирита. В ассоциации сульфидов отмечается мелкое золото в сростках. На долю этой минеральной рудной ассоциации приходится всего около 5 % объема рудной зоны 3 [6] (рис.6).

Максимум в классе 12 принадлежит маломощным поздним по времени образования кварцевым жилам, в которых отмечено даже самородковое золото. Эти кварцевые, кварц-альбитовые, кварц-карбонатные жилы с включениями сульфидов и сульфосолей локально проявлены. В зоне 3 на их долю приходится не более 0,5 % объема. Они не оказывают существенных метаморфизирующих воздействий на ранние руды и отражают типичное телескопирование многостадийного оруденения в едином рудном теле. Несмотря на локальность проявления

этой продуктивной ассоциации в зоне 3, а тем более в массе всего штокверка, она фактически создает рудные столбы, на которые приходится до 20 % валового золота зоны 3.

Такова интерпретация выявленных распределений, которая отражает действительную природу рудообразующих продуктивных минеральных стадий Наталкинского месторождения, подтвержденных современными аналитическими исследованиями руд и данными геологоразведочных работ [1, 4, 5].

Характер распределений концентраций и метропроцентов золота в рамках всего горизонтального среза Наталкинского штокверка (рис.7) в блоке между горизонтами +750 и +700 м (количество проб 5488, общая длина опробованного штокверка 9762,10 м, суммарное значение метрограмм 22603,43 мг/т, среднее содержание золота 2,32 г/т) принципиально однотипен с рассмотренными диаграммами (см. рис.5, 6).

Существенным дополнением к ранее рассмотренным закономерностям распределений  $n$  и  $mc$  на рис.7 является установление нового факта: максимум частотного распределения штокверка первоначально соответствовал классу 3. Именно этот концентрационный уровень золотоносности соответствовал начальному рудообразованию, который в последующем был преобразован, что осложнило кривую частотного распределения в классе 5. Воздействие нового прожилково-вкрапленного оруденения оказалось столь значительным, что раннее золото было почти полностью перераспределено, перекристаллизовано, в результате чего пробы с укрупненными зернами золота

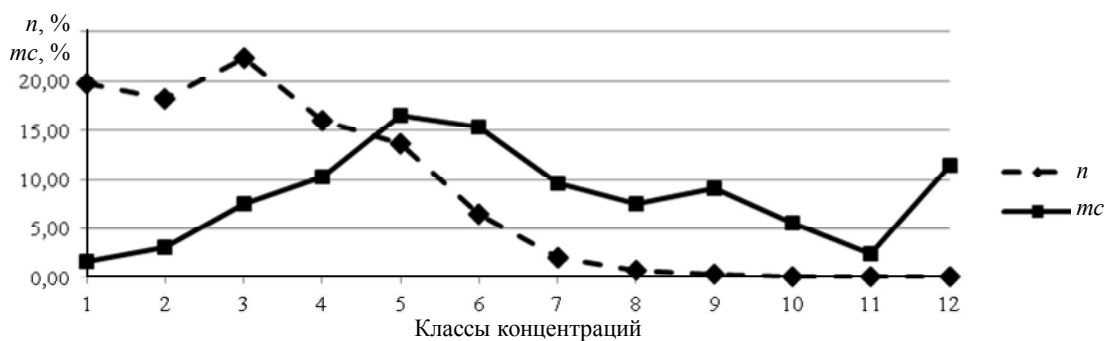


Рис.7. Соотношение распределений числа проб  $n$  и масс золота  $mc$  в сводном блоке между горизонтами +750 и +700 м Наталкинского месторождения

соответствуют более высоким классам шкалы. Кроме того, возникло большое число проб «пустых», распределенных по энтропийному закону [6].

Следовательно, на основе анализа выявленных распределений концентраций и массовых долей золота в рудах Наталкинского штокверка можно утвердительно судить о многостадийном оруденении, из которого выделяются четыре золотоносные стадии, определяющие масштаб рудообразования и его концентрационный уровень.

**Использование особенностей распределения проб и массы золота при поисковых работах.** Рассмотрим пример возможного использования закономерностей распределения числа отобранных в процессе поисков проб и количеств (долей) массы золота, приходящихся на разновидности золотосодержащих пород. Норская площадь расположена в Селемджинском районе Амурской области. Она находится в пределах Монголо-Охотской геосинклинальной области, в границе Джагды-Селемджинской металлогенической зоны, вытянутой в субширотном направлении вдоль Южно-Тукурингрского регионального разлома. Юго-восточнее участка на продолжении данных структур расположено такое крупное месторождение золота, как Маломыр. Рудопроявления Норской площади находятся в составе Нимканского рудного узла. Рудный узел сложен дислоцированными и метаморфизованными в фации зеленых сланцев терригенными и вулканогенно-осадочными породами ранне-среднедевонского и ранне-среднекаменноугольного возраста. Каменноугольные отложения слагают крупную куполовидную структуру – Норскую антиклиналь, ограниченную с севера и юга крупными разрывными нарушениями – ответвлениями Южно-Тукурингрского разлома.

Подобная позиция весьма характерна для месторождений Джагды-Селемджинской зоны: Норская антиклиналь является фрагментом более крупной Афанасьевско-Сагурской структуры, включающей ряд куполовидных антиклиналей, контролирующей рудную и россыпную золотоносность южной ветви Верхнеселемджинской зоны.

Золотое оруденение района связано с зонами крупных разломов типа взбросов и взбросо-сдвигов, к которым приурочены Токурское, Унгличиканское и другие месторождения. Фрагментом этих разломов является Нимканский взбросо-сдвиг Норской площади.

Отправной точкой для изучения коренной золотоносности территории послужили россыпи золота, известные с XIX в. Добыча золота из них ведется и в наши дни. Однако коренная золотоносность практически не изучена: во второй половине XX в. на территории района в рамках съемочных работ проводились поиски, выявившие ряд проявлений золота, однако не изучившие их в достаточной степени. Эти рудопроявления послужили исходными объектами современных поисково-оценочных работ, вскрывших новые рудопроявления.

Из всей общности пород, слагающих Норскую площадь, были выделены метадиориты, сланцы златоустовской свиты, гранитоиды, метагаббро, девонские сланцы, графитизированные сланцы (развиты в зоне Нимканского разлома), в которых были обнаружены признаки коренных золотопроявлений.

По результатам поисковых работ были систематизированы имеющиеся материалы опробования оруденелых пород, из которых бороздовое опробование канав составило 6186 проб. Общая картина распределений числа проб и метропроцентов золота по двоичной (логнормальной) шкале концентраций золота была распространена на всю Норскую площадь. Частотное распределение проб оказалось близким к логарифмически нормальному, причем подавляющая масса проб пришлась на классы концентраций золота от 0,006 до 0,1 г/т. На общем логнормальном графике уменьшения числа проб в направлении возрастающих классов концентраций золота обнаружились небольшие отклонения в классах концентраций от 0,1 до 1,5 г/т и в классах от 3 до 12 г/т. Геологическая привязка проб этих классов показала, что такие концентрации золота свойственны метадиоритам и златоустовским сланцам, приуроченным к единой

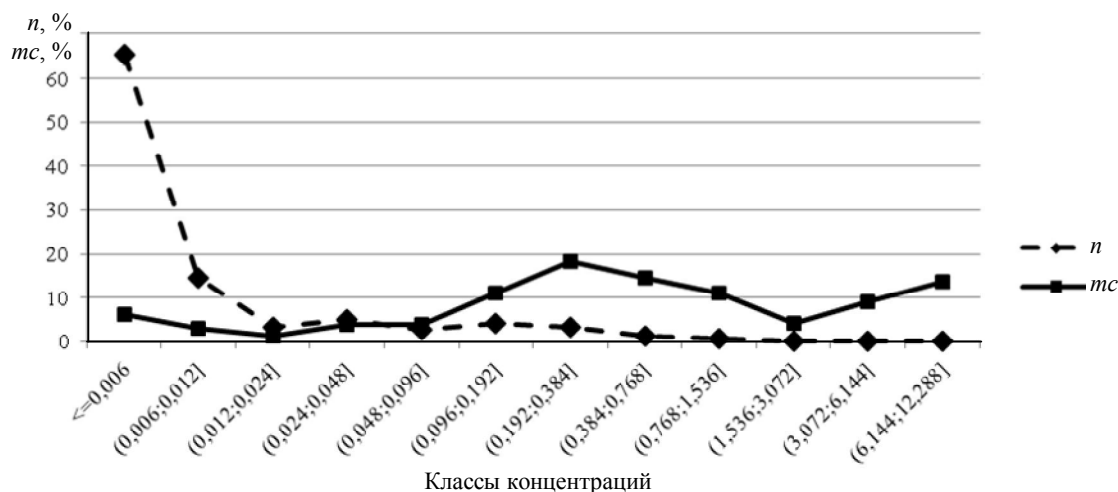


Рис.8. Распределения числа проб и массы золота для метадиоритов и сланцев златоустовской свиты

зоне катаклаза, рассланцевания и гидротермального преобразования. В этих породах с позиции массового распределения золота отчетливо фиксируются два максимума (рис.8).

Максимум концентраций соответствует выявленному ранее кварцевым мало-мощным жильным телам с самородковым золотом. Второй максимум выявлен нами впервые. Обнаружились участки раннего окварцевания зон рассланцевания с прожилково-вкрапленной сульфидизацией с тонким и мелким золотом. Эта продуктивная на золото ассоциация, по данным полевых исследований, предшествовала становлению золотоносных жил и, возможно, являлась базой для формирования золотоносных жил. Массовое количество золота, приходящееся на этот максимум, почти в 2 раза превышает количество золота жил.

Изучение золота россыпей Норской площади свидетельствует о наличии двух морфологических, гранулометрических и вещественных разновидностей золота. Эти новые материалы позволяют по-новому рассматривать перспективы проведения поисковых работ и оценивать потенциал Норской площади.

**Заключение.** Рассмотренные примеры показывают, что выполненные аналитические исследования распределений числа проб и масс золота по шкале классов концентраций золота в рудах месторождений позволяют создать модельные представления о гене-

тической истории развития оруденения и формах его нахождения. Полученные модели могут быть использованы [11] для раскрытия природы оруденения, его формационного типа, что может быть применено в геологической практике с целью поисков, промышленной оценки рудных тел и месторождений, при подсчете запасов руд и металла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григоров С.А. Генезис и динамика формирования Наталкинского золоторудного месторождения по данным системного анализа геохимического поля // Руды и металлы. 2006. № 3. С.44-49.
2. Калинин А.И. Месторождение Наталка. Многофакторные прогнозно-поисковые модели месторождений золота и серебра Северо-Востока России / Под ред. М.М.Константинова, И.С.Розенблюма, М.З.Зиннатуллина. М., 1992. С.5-11.
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. Наталкинское золоторудное месторождение мирового класса: распределение РЗЭ, флюидные включения, стабильные изотопы кислорода и условия формирования руд (Северо-Восток России) / Н.А.Горячев, О.В.Викентьева, Н.С.Бортников и др. // Геология рудных месторождений. 2008. Т.50. № 5. С.414-444.
5. Наталкинское золоторудное месторождение – строение и основные поисковые признаки / С.А.Григоров, В.Б.Ворожбенко, П.И.Кушнарв и др. // Отечественная геология. 2007. № 3. С.43-50.
6. Сендек С.В. Проявление энтропийного закона распределения массы золота при формировании промышленного оруденения // Зап. Горного ин-та. 2009. Т.183. С.112-126.
7. Сендек С.В. Структура запасов металла как следствие генетических особенностей рудообразования // Зап. Горного ин-та. 1993. Т.137. С.28-38.

8. *Тюкова Е.Э.* Минералого-генетические особенности месторождений Пионерского рудного узла (Северо-Восток СССР): В 2 ч. Ч.1. Геологическое строение и вещественный состав руд; Ч.2. Генетические особенности рудообразования. Препр. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1989. Ч.1. 60 с., ч.2. 38 с.

9. *Фирсов Л.В.* Перекристаллизация кварца и золота в жилах Родионовского месторождения // Тр. ВНИИ-1. Геология. Магадан, 1956, вып.11. С.56-64.

10. *Фирсов Л.В.* Структура, морфология, минералогия и оруденение Игуменовского месторождения // Тр. ВНИИ-1. Геология. Магадан, 1958. Вып.33. С.192-262.

11. *Фирсов Л.В.* Формация золотокварцевых месторождений Яно-Колымского пояса // Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока. М.: Наука, 1966. С.132-144.

### REFERENCES

1. *Grigorov S.A.* Genesis and dynamics of the Natalkinskoye gold ore deposit formation according to data of the systems analysis of geochemical field // *Ores and metals*. 2006. № 3. P.44-49.

2. *Kalinin A.I.* Natalkinskoye deposit. Multiple-factor forecast-prospecting models of gold and silver deposits at the North-East Russia / Editors: M.M.Konstantinov, I.S.Rosenblum, M.Z.Zinnatullin. Moskow, 1992. P.5-11.

3. *Kantsel A.V.* Function of the metal distribution in ores as a genetic characteristic of the ore-forming process // *Izvestia (journal) of the USSR AcSc, geol. ser.* 1988. N.10. P.18-30.

4. *Goryachev N.A., Vikentyeva O.V., Bortnikov N.S.* et al. Natalkinskoye gold ore world scale deposit: REE distribution, fluid inclusions, stable oxygen isotopes and conditions of ore-forming process (North-East Russia) // *Geology of ore deposits*. 2008. V.50, N.5. P.414- 444.

5. *Grigorov S.A.* et al. Natalkinskoye gold ore deposit – structure and principal prospecting attributes // *National geology*. 2007. N.3. P.43-50.

6. *Sendek S.V.* Manifested entropy law in distribution of the gold mass while formation of the recoverable ore mineralization // *Proceedings of the Mining Institute*. 2009. V.183. P.112-126.

7. *Sendek S.V.* Structure of the metal reserves as a consequence of genetic peculiarities of the ore-forming process // *Proceedings of the Mining institute*. 1993. V.137. P.28-38.

8. *Tyukova E.E.* Mineralogical-genetic peculiarities of ore deposits of the Pionersky ore cluster (North-East of the USSR), in two parts. Part 1. Geological structures and substantial composition of ores. Part 2. Genetic features of ore-forming process. Magadan: Preprint SVKNII DVO AcSc. of the USSR, 1989. Part 1. 60 p., part 2. 38 p.

9. *Firsov L.V.* Re-crystallization of quartz and gold in ores of Rodionovskoye deposit // *Trudy (journal) VNIИ-1. Geology*. Magadan, 1956, iss.11. P.56-64.

10. *Firsov L.V.* Structure, morphology, mineralogy and ore-mineralization of Igumenovskiy deposit // *Trudy (journal) VNIИ-1, Geology*. Magadan, 1958, iss.33. P.192-262.

11. *Firsov L.V.* Formation of gold-quartz ore deposits of the Yano-Kolymsky belt // *Endogenic ore formations of Siberia and the Far East*. Moskow: Nauka, 1966. P.132-144.