Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXIV, вып. 2, 1974 г.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ НА НЕЖДАНИНСКОМ ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

В. И. Яковлев, Т. И. Нюппенен

Нежданинское золоторудное месторождение находится в северной части Южно-Верхоянского синклинория и расположено в сводовой части южного периклинального замыкания коробчатой Дыбинской антиклинали. Вмещающие породы представлены монотонной толщей песчанистых алевролитов и сланцев нижнепермского возраста. Породы часто углистые, нередко известковистые и насыщены конкрециями пирита и марказита. Рудные тела локализуются в протяженных зонах дробления и смятия субмеридионального простирания и почти вертикального падения. По вещественному составу большинством исследователей руды отнесены к малосульфидному типу кварц-золоторудной формации умеренных глубин и средних температур.

Г. Н. Гамянин и В. И. Соловьев [3] в главной рудной зоне выявили признаки прямой вертикальной зональности — последовательную смену ранних высокотемпературных парагенетических ассоциаций минералов более поздними низкотемпературными от нижних горизонтов к верхним. Процесс рудообразования они подразделяли на три стадии: кварц-арсенопиритовую, кварцево-полиметаллически-сульфоантимонитовую и шеелит-анкеритовую.

По мнению М. К. Силичева и Н. В. Белозерцевой [6, 7], для месторождения характерна обратная вертикальная зональность, которую можно квалифицировать как «зональность тектонического закрывания» и объяснить эволюцией процесса минералообразования на фоне снижающейся тектонической активности сверху вниз и с севера на юг. Вследствие этого более поздние и низкотемпературные ассоциации минералов должны были отлагаться на более глубоких горизонтах и на южных флангах рудных зон. Эти исследователи выделяют уже семь стадий рудообразования в порядке их проявления: серицит-карбонатную, пирит-арсенопиритовую импреньяционную, полевошпат-кварцевую, пирит-арсенопиритовую жильную, сфалерит-тетраэдрит-галенитовую, сульфоантимонитовую и позднекварцевую.

При выявлении наиболее общих закономерностей распределения золота и его элементов-спутников в вертикальном разрезе главной рудной зоны нами использованы дубликаты бороздовых проб из канав, шурфов-рассечек, рассечек штолен и скважин горизонтального бурения. Пробы подбирали по сериям, характеризующим полное пересечение руд-

ной зоны с выходом в слабоминерализованные вмещающие породы. В соответствии с общепринятой системой опробования, по каждому пересечению через зону отобрано от 20 до 70 проб. Опробование проведено на четырех горизонтах по вертикали. На каждом из горизонтов отобраны дубликаты проб по 3—5 пересечениям. Содержание золота в пробах определяли методом пробирного анализа с чувствительностью 0,2 *г/т* ($2 \cdot 10^{-5}$%), остальные элементы — спектральным методом. Спектрограммы расшифровывали на 23 элемента: Pb, Zn, Ag, As, Sb, W, Bi, Cu, Sn, Mo, Cd, Ni, Co, Ti, V, Cr, Mn, Be, Zn, Ge, Tl, Ba. Небольшой объем анализов на Zn, Tl, Ga, Ge, Bi, Cd, Sn выполнен двудуговым методом спектрального анализа [4] с чувствительностью $1 \cdot 10^{-5}$—$1 \cdot 10^{-6}$%.

Для определения элементов-спутников золота, участвующих в процессе гидротермального рудообразования, построены графики содержаний элементов по пересечениям через рудную зону. Анализ их показал, что в пределах зоны минерализации, кроме золота, наблюдаются повышенные концентрации Ag, As, Sb, Pb, Zn, Cu, Cd, Zn, Bi, Ba. Кроме того, с аномально высокими содержаниями золота явно коррелируются редко обнаруживаемые концентрации W и Mo(?). Методом многократной корреляции [2] установлено, что связь элементов-спутников с золотом убывает примерно в следующем порядке:

$$Zn(Cd)—Pb(In)—Ag—As, Sb—Bi—Cu.$$

Не связанными с золотом оказались V, Ga, Cr, Ti, Ni, Co, Tl, Ge, Sn, Mn.

Как указано выше, содержание Bi, Cd и Zn определялось двудуговым методом анализа для небольшого числа проб, поэтому характер распределения этих элементов в вертикальном разрезе рудной зоны не выяснен. С другой стороны, при оценке корреляционных связей не использованы результаты анализов на Ba, распределение которого в зоне вполне закономерно.

Таким образом, оценивать вертикальную зональность оруденения целесообразно по следующим восьми элементам: Au, Cu, Pb, Zn, Ag, As, Sb и Ba.

Зональное распределение рудогенных элементов в вертикальном разрезе рудной зоны определяли подсчетом средних продуктивностей и отношений продуктивностей элементов-спутников к продуктивности основного рудного элемента по каждому из горизонтов.

Продуктивность элемента M определена по формуле

$$M = \sum_{i=1}^{n} \Delta l_i (C_i — C_\Phi),$$

где Δl_i — длина бороздовой пробы с аномальным содержанием элемента; C_i — содержание элемента в этой пробе; C_Φ — фоновое содержание элемента; n — число проб, включенных в подсчет.

Местные фоновые содержания элементов определены по 225 пробам неминерализованных пород, отобранных в пределах рудного поля. Оценка фона выполнена графическим способом по моде дифференциальной или медиане интегральной кривой распределения частостей. Среднее значение продуктивности $\bar{M}$ для горизонта вычислено как среднеарифметическое из продуктивностей по отдельным пересечениям. Величина отно-

шения продуктивности элемента-спутника к продуктивности золота для каждого горизонта определена по формуле

$$\nu = \frac{\overline{M}_{эл}}{\overline{M}_{Au}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta l_i (C_{i\,эл} - C_{ф\,эл})}{\sum_{i=1}^{n} \Delta l_i (C_{j\,Au} - C_{ф\,Au})}.$$

Полученные значения продуктивностей и отношений продуктивностей изображены в виде графиков на рис. 1. Поскольку полученные значения рассматриваемых параметров в какой-то степени могут иметь характер случайной величины, на графиках пунктирными линиями отображена общая тенденция в изменении параметра, и полученные данные обсуждаются с учетом этого фактора. Как видно из графиков, значения средних продуктивностей отдельных элементов изменяются в широких пределах, однако по положению (наклону) результирующих графиков продуктивностей и отношений продуктивностей отдельных элементов к продуктивности золота намечается следующий зональный ряд распределения элементов в разрезе снизу вверх:

$$As,\ Au \longrightarrow Cu,\ Pb \longrightarrow Zn \longrightarrow Sb \longrightarrow Ba \longrightarrow Ag.$$

Устойчивая тенденция увеличения относительного количества Zn, Sb, Ba и Ag от более глубоких горизонтов к поверхности однозначно свидетельствует о зональном распределении элементов в вертикальном сечении зоны, а закономерная постепенная смена максимальных количеств более высокотемпературных ассоциаций элементов низкотемпературными в этом же направлении позволяет квалифицировать это распределение как прямую вертикальную зональность отложения.

Зональность подобного типа Ю. А. Билибиным [1] отнесена к зональности второго рода. Она проявляется в каждом рудном теле в пределах одной генерации руд и обусловлена физико-химическими особенностями отложения различных минералов из одного и того же рудного раствора. Однако при документации горных выработок нередко отмечаются случаи пересечения жил и прожилков кварца с включениями арсенопирита и пирита прожилками с галенитом и сфалеритом, а последних—жилами и прожилками кварца с минералами группы сульфосолей. На основании этих фактов процесс рудообразования и подразделяется на три самостоятельные стадии или на три подстадии единой продуктивной стадии рудоотложения. Наблюдаемые факты пересечения более высокотемпературных ассоциаций минералов ассоциациями низкотемпературными могли возникнуть в результате проявления актов трещинообразования на фоне действия единого эволюционирующего во времени и пространстве рудообразующего раствора. В результате в пределах зоны по последовательно подновленным системам трещин двигались растворы несколько измененного состава и отлагались заметно отличающиеся ассоциации элементов и минералов. Тогда при опробовании зоны в каждой отдельной пробе можно обнаружить аномальные концентрации элементов, взаимосвязанных условиями и временем отложения.

Нами подсчитаны средние значения суммарной длины бороздовых проб с аномальным содержанием рассматриваемых элементов на каждом из исследуемых горизонтов. Даже беглый анализ рис. 2 позволяет выделить три группы элементов: 1) Sb — Ba; 2) As — Ag; 3) Cu — Zn—Pb. Они обогащают, соответственно, верхние, средние и нижние гори-

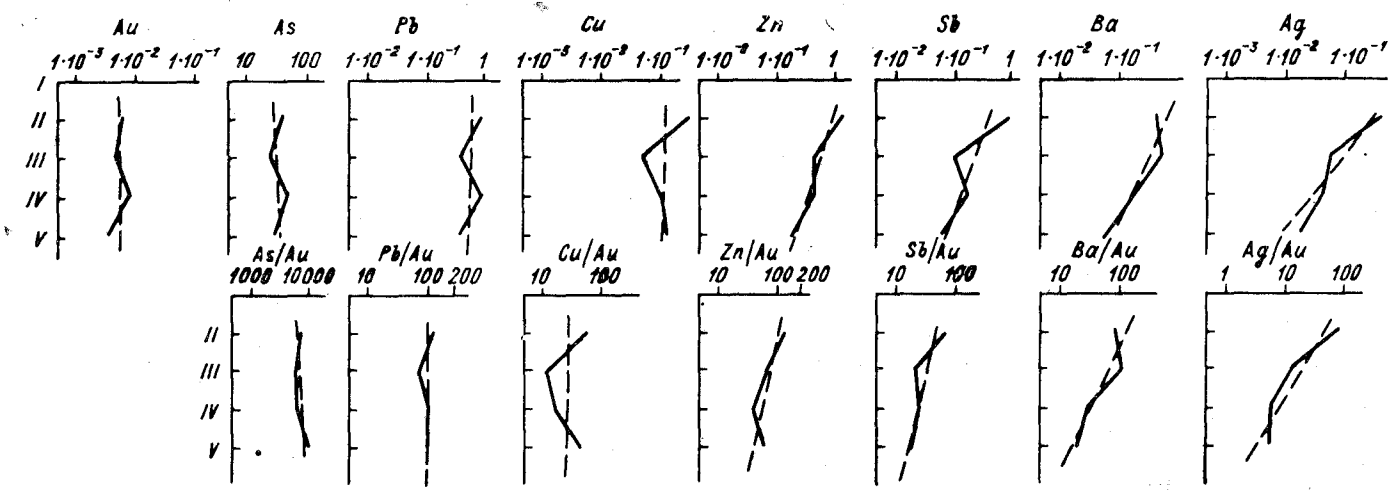


Рис. 1. Изменение продуктивностей и отношений продуктивностей основных рудообразующих элементов к продуктивности золота в вертикальном разрезе главной рудной зоны Нежданинского месторождения

зонты рудной зоны. Золото занимает промежуточное положение между As и Ag, с одной стороны, и Cu, Pb и Zn — с другой. Как показано на рис. 1, наиболее тесно золото связано с типоморфными элементами среднего периода процесса минерализации — Zn и Pb, вследствие чего можно предполагать, что основное количество золота отложилось в этот период. В меньшей мере оно связано с мышьяком.

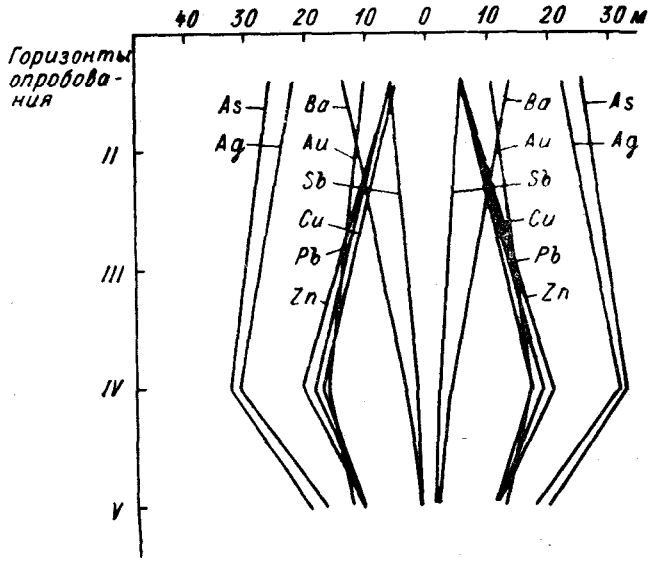


Рис. 2. Изменение суммарной длины бороздовых проб с аномальными содержаниями рудообразующих элементов в вертикальном разрезе главной рудной зоны Нежданинского месторождения

Приводимые в настоящей статье материалы и данные по минеральному составу руд позволяют усматривать двойственное поведение мышьяка в процессе минерализации — отложение его в форме арсенопирита в начальный и вхождение совместно с серебром в состав сульфосолей в конечный период процесса рудообразования. С учетом этого факта вертикальный ряд зональности снизу вверх может быть определен в виде

$$As,\ Au \longrightarrow Cu,\ Pb \longrightarrow Zn \longrightarrow Sb \longrightarrow Ba \longrightarrow Ag(As).$$

Этот ряд зональности соответствует типу зональности отложения, который определяется устойчивостью в растворе наиболее распространенных комплексов металлов и совпадает с обобщенным эмпирическим рядом вертикальной зональности, приведенным Л. Н. Овчинниковым и С. В. Григоряном для гидротермальных месторождений любого металлического состава. Можно согласиться с мнением этих авторов о том, что «...смена выделяемых стадий минерализации, стадий рудоотложения является больше результатом пространственной, нежели временной дифференциации единого рудообразующего раствора, поступающего непрерывно. Наблюдающиеся же взаимные пересечения продуктов выделяемых стадий обусловлены внутрирудными подвижками, происходящими в различных частях пространства...» [5, стр. 13].

Выводы

1. В главной рудной зоне Нежданинского месторождения установлена прямая вертикальная зональность отложения с постепенной сменой максимальных количеств рудообразующих элементов снизу вверх:

$$As,\ Au \longrightarrow Cu,\ Pb \longrightarrow Zn \longrightarrow Sb \longrightarrow Ba \longrightarrow Ag(As).$$

2. Процесс рудоотложения был длительно эволюционирующим и практически непрерывным. Наблюдаемые взаимные пересечения жил и прожилков, сложенных различными минеральными ассоциациями, есть результат внутрирудных подвижек, а не свидетельство принадлежности их к различным стадиям гидротермального процесса, значительно разорванным во времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Билибин Ю. А. К вопросу о вертикальной зональности рудных месторождений. ЗВМО, 1961, ч. LXXX, № 2.
2. Боровиков Л. И., Бурков Ю. К. Корреляционный анализ закономерностей распределения малых элементов для решения вопросов седиментогенеза. Междунар. геологич. конгресс, XXIII сес., докл. сов. геологов. Мир, 1968.
3. Гамянин Г. Н., Соловьев В. И. Золоторудные формации Восточной Якутии. В сб.: Строение земной коры Якутии и закономерности размещения полезных ископаемых. Наука, 1969.
4. Григорьева О. А., Квятковский Е. М. Высокочувствительный двудуговой метод спектрального анализа на золото и некоторые рассеянные элементы. Зап. ЛГИ, 1963, т. XLV, вып. 2.
5. Овчинников Л. Н., Григорян С. В. Закономерности состава и строения первичных геохимических ореолов сульфидных месторождений. В сб.: Научные основы геохимических методов поисков глубокозалегающих рудных месторождений. СГПМ, II сес. Иркутск, 1970.
6. Силичев М. К., Белозерцева Н. В. Генетические особенности Нежданинского золоторудного месторождения. В сб.: Рудообразование и его связь с магматизмом (тезисы докладов). Якутск, 1969.
7. Силичев М. К. Геологическое положение и особенности структуры Нежданинского золоторудного месторождения. Геол. рудн. месторожд., 1970, № 2.