

УДК 553.411+553.08

## НОВЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ПЕРВИЧНОЙ МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

© Кокин А.В.

*Южно-Российский институт управления РАНХиГС при Президенте РФ,  
г. Ростов-на-Дону*

*На примере Якутии селективным методом и методом одного сечения в условиях ограниченных данных рассматривается возможность выявления минералого-геохимической зональности одно- и полистадийных золоторудных месторождений. Устанавливается подобие формирования минеральной и геохимической зональности на уровне рудных полей, месторождений, отдельных рудных тел и первичных ореолов золото-пиритового, золото-пирит-арсенопиритового, золото-халькопирит-сфалерит-галенитового, золото-сульфоантимонитового, золото-вольфрамит-шеелитового и золото-сульфотеллуридного минеральных типов. В основе рудно-геохимической зональности лежат фундаментальные свойства периодичности распространения элементов относительно их атомных масс.*

***Ключевые слова:** золоторудные месторождения, минеральные типы, минеральные стадии, минералогическая зональность, геохимическая зональность.*

В рамках существующих представлений [16, 17, 15, 13, 14, 11, 3] первичная рудная, минералого-геохимическая зональность месторождений представляется как закономерное пространственно-временное изменение минерального и химического состава рудных тел, месторождений, рудных полей, рудных узлов, провинций.

Обычно минералого-геохимическая зональность исследуется на основе тщательного изучения минерального и элементного состава рудных тел их первичных ореолов на разных структурно-гипсометрических уровнях. Это делается для того, чтобы исследовать историю рудообразования, заметить направленность в изменении вещественного состава объектов опробования и ответить на вопрос о их начальном, оптимальном уровне вскрытия или их прикорневых частей. Наиболее полную

информацию о закономерностях изменения вещественного состава рудных тел, как известно, можно получить только на основе разведки месторождений. Это очень важно для теоретических построений, но использование данных зонального распределения минерального и элементного состава в рудной массе и первичных ореолах в таком случае теряет экономический смысл, поскольку, как правило, такую информацию можно получить только имея достаточно большое количество сечений в горных выработках. На самом деле зональную картину распределения минералов и основных рудогенных элементов в рудных телах месторождений желательнее иметь на поисковой стадии, когда в силу малой обнаженности района исследований геологи не располагают достаточным количеством сечений рудных тел и их первичных ореолов, чтобы ответить на главный вопрос о перспективности дальнейшего изучения рудного объекта.

Геохимическая зональность рудных месторождений в процессе рудообразования может быть описана пространственно-временным изменением градиентов концентраций одних и рассеяния других химических элементов [10, 12]. Например, Л.Н. Овчинниковым совместно с С.В. Григоряном впервые удалось показать, что сульфидсодержащие месторождения гидротермальных руд формируются в рамках единой геохимической закономерности (открытие зарегистрировано Госкомитетом Совета Министров СССР по делам открытий и изобретений в 1979 году под № 218). Важность этого открытия заключается не в том, что авторы наметили некую «универсальность» в пространственном распределении химических элементов при формировании рудных месторождений. Как показала практика подобная «универсальность» не всегда соблюдается в конкретных геологических условиях. Важность открытия Овчинникова-Григоряна состоит, в том, что они впервые обратили внимание на существование не случайных или особенных условий образования отдельных месторождений и их типов, а подчеркнули, что должны находиться какие-то фундаментальные основания в пространственном распределении атомов химических элементов не только в составе рудных тел, их первичных ореолов [10-12], но и в других естественных образованиях [8, 9, 7].

Рудная, минералогическая и геохимическая зональность может быть исследована в зависимости от геолого-структурных (наличия совмещённых или разобщённых во времени и пространстве разных по составу и возрасту стадий рудообразования), температурных (регрессивного или прогрессивного рудоотложения [13]) условий формирования месторождений. Мелкие по запасам и более простые по минеральному составу рудные месторождения обычно образуются в рамках одного этапа и/или стадии рудообразования. А крупные и уникальные — как правило, это полигенные и полихронные месторождения [2], сформировавшиеся в несколько этапов (например, в догранитоидный, гранитоидный и постгранитоидный) и стадий рудообразования. Зачастую этапы и стадии в таких месторождениях наложены на уже существующие с дроблением руд и минералов, диафторезом, переотложением и т. д. Поэтому иногда не совсем просто разобраться в том, существует ли вообще в таких месторождениях зональность [18]? Как показывает практика не зонально построенных эндогенных месторождений просто не существует [4, 9], а их сложная геологическая, минералогическая и геохимическая история формирования попросту бывает не достаточно хорошо изучена. Так как зачастую руды формируются в составе нескольких минеральных типов, соответствующие разным этапам и стадиям в рамках чехловой сжатой (коденсированной) или растянутой минералогической зональности [2]. При этом наложение поздних стадий на ранние не обязательно затрагивает всё рудное тело.

#### **Селективный подход в изучении минерало-геохимической зональности золоторудных месторождений**

Представляет собой разделение рудообразования на этапы и стадии минерализации в полистадийных рудных месторождениях [4]. Это, во-первых, даёт не только возможность понять их историю, выделить минералы-концентраты интересующих нас полезных компонентов руд (например, золота при анализе

монофракций основных минералов руд), но и вскрыть фундаментальные причины феномена минералогической и геохимической зональности.

Золоторудные месторождения и проявления Восточной Якутии в основном представлены золото-пиритовым, золото-пирит-арсенопиритовым, золото-халькопирит-сфалерит-галенитовым, золото-сульфоантимонитовым, золото-сульфотеллуридным, золото-шеелит-вольфрамит-сульфотеллуридными минеральными типами [4-7, 9].

Чаще всего от ранних к поздним минеральным стадиям формируется регрессивная (с понижением температуры) прямая (снизу вверх) минералогическая зональность с образованием следующих минеральных типов вне зависимости от положения источников рудного вещества: золото-пиритового — золото-арсенопиритового (золото-пирит-арсенопиритового) — золото-халькопирит-сфалерит-галенитового — золото-сульфоантимонитового минерального типа [4-7, 9]. Самородное золото является сквозным элементом и минералом в составе представленных минеральных типов (таблица 1).

Таблица 1

Минеральные стадии по основным рудогенным элементам, входящим в состав минеральных типов золоторудных месторождений и проявлений Восточной Якутии

1.	Золото-пиритовый (Водопадный, Таёжное, Оночалах, Нежданинское)	Золото-арсенопиритовый, золото-пирит-арсенопиритовый (Нежданинское, Веткинское, Юрское, Бринадакит, Наганджа, Эсэлогда)	Золото-халькопирит-сфалерит-галенитовый (Нежданинское, Лазурное, Агылжинское)	Золото-сульфоантимонитовый (Нежданинское, Хохсолохское, Имнеканское)	Золото-шеелит-вольфрамит-сульфотеллуридный (Нежданинское, Одержимое, Тенистое, Курумское)
2.	<b>Au, Ag, Cu, As, Co, Ni</b>	<b>Au, Ag, Cu, Zn, Pb, As, Sb, Bi, Co, Ni,</b>	<b>Au, Ag, Cu, Zn, Pb, As, Sb, Bi</b>	<b>Au, Ag, Cu, Zn, Pb, As, Sb, Te, Bi, Co</b>	<b>Au, As, Sb, Te, W, Bi, Mo, Ag</b>
3.	Ni-Co-As-Cu-Ag-Au	Ni-Co-As-(Sb,Bi)-Au-Ag-Cu- (Zn,Pb)	(Ni,Co)-Cu-Zn-Pb-Ag-Au-As-(Sb,Bi)	As-Sb-(Bi)- Cu-Zn-Pb-Ag-Au	Mo-W-As-(Ni)-Co-Sb-Au,Bi,Te-Ag-(Cu, Zn, Pb)
4.	Верх ряда — Cu-Zn-Pb-Ag-Au-As-Sb-Bi-(Te,W) — низ ряда				

*Примечание: 1. Минеральные типы изученных золоторудных проявлений и месторождений. 2. Основные минеральные компоненты (выделены жирным шрифтом) и статистически значимые примеси в минеральных типах золоторудных месторождений, установленные в 100% случаев (в скобках — до 50% случаев) 3. Обобщённая пространственная (вертикальная, латеральная) геохимическая зональность в условиях одностадийности регрессивного рудообразования, рассчитанная экспериментальным путём. 4. Основные сквозные минеральные компоненты и элементы-примеси, формирующие региональную пространственную (вертикальную, латеральную) регрессивную геохимическую зональность.*

*Золото-пиритовый, золото-пирит-арсенопиритовый минеральные типы.* Обычно представляют собой сквозные образования большинства золоторудных месторождений от более ранней золото-пиритовой к более поздней золото-арсенопиритовой или совмещённой золото-пирит-арсенопиритовой минерализации при постоянном присутствии золота в составе примесей в пирите и арсенопирите. Основными минеральными концентраторами золота-1 являются ранний (до 320 г/т) и поздний (до 60 г/т) пирит, ранний (до 180 г/т) и поздний арсенопирит (до 25 г/т). Перекристаллизация минералов-носителей золота в поздних стадиях рудообразования (впервые это установлено на Нежданинском месторождении геологами М.К Силичевым и Н.В. Белозерцевой в начале 80-х годов прошлого столетия) приводит к высвобождению связанного минералами-носителями золота-1 в его свободную самородную форму золота-2 в составе сульфидов, кварца жил и минерализованных зон дробления. Таким

образом, самородные выделения золота-2 являются более поздними образованиями в составе золото-пиритового, золото-пирит-арсенопиритового и пространственно совмещённых золото-пирит-арсенопиритового минеральных типов. Это необходимо учитывать при интерпретации уровня вскрытия золоторудных тел в условиях выявленной минералогической зональности, что открывает возможность помимо минералогического картирования месторождений проводить технологическое картирование по уровню извлечения золота из упорных (сульфидных) и не упорных руд.

*Золото-халькопирит-сфалерит-галенитовый минеральный тип.* Также чаще представляет собой сквозной минеральный тип золоторудной минерализации в полистадийных месторождениях. Минералами-концентраторами золота-1 являются халькопирит, медьсодержащие блеклые руды, сфалерит, галенит. В условиях диафореза золото-1 может выделяться в самородном виде (золото-2) в сульфидах и жильном кварце. Золото-2 также является наиболее поздним образованием, как и самородное серебро в рудных телах данного минерального типа.

*Золото-сульфоантимонитовый минеральный тип.* Чаще всего, формирует самую позднюю минеральную ассоциацию в полигенных и полихронных золоторудных месторождениях. Минералами концентраторами золота-1 и серебра-1 выступают сложные сульфосоли свинца, серебра, цинка, меди, сурьмы, антимонита. Самородное золото-2 и серебро-2 в этом минеральном типе выделяются также, как правило, последним в составе сульфидов и кварца.

В условиях полистадийности и полиэтапности рудообразования на средних и глубоких горизонтах (Нежданинское месторождение) может формироваться золото-сульфотеллуридный, известный также под названием как золото-редкометалльный (по Н.А. Шилов, Г.Н. Гамянину) или золото-теллур-висмутовый [1] минеральный тип.

*Одно-двухстадийная золото-шеелит-вольфрамитовая, золото-сульфотеллуридная минерализация* устанавливается в апикальных частях и экзоконтактах вскрытых гранодиоритах ранне-позднемелового возраста (рудопоявления и месторождения Одержимое, Тенистое, Курумское, Борикчакское, Сосукчанское и др.). Основными минералами-концентраторами золота-1 являются сульфотеллуриды висмута, кобальтсодержащий арсенопирит, лёллингит. Свободное золото-2 и самородный висмут выделяются в составе сульфотеллуридов висмута, кварца и являются наиболее поздними минералами в составе рудной массы.

В п. 2. таблицы отражены основные минеральные компоненты (выделены жирным шрифтом) и статистически значимые элементы-примеси в минеральных типах золоторудных месторождений, установленные в 100% случаев, а в скобках — до 50% случаев. Элементы в рудных телах, как правило, формируют вертикальную геохимическую зональность (п. 3 таблицы).

Для золото-пиритового минерального типа золото-2 выделяется не только последним в составе рудной массы, но занимает верх зонального ряда, образуя максимум концентраций на верхних горизонтах рудных тел. При этом верх зонального ряда формируют элементы первой группы побочной подгруппы таблицы Д.И. Менделеева (Cu — Ag — Au) в точном соответствии с законом их распространённости в составе земной коры от величины атомных масс. Для золото-арсенопиритового минерального типа в этой триаде элементов зависимость может быть как прямая, так и обратная, как впрочем и для ассоциации (As — Sb — Bi) пятой группы главной подгруппы элементов Д.И. Менделеева.

В составе золото-халькопирит-сфалерит-галенитового минерального типа распространённость триады элементов Cu — Ag — Au в зональном ряду вновь подчиняется прямой зависимости от атомной массы в составе земной коры, как впрочем и As — (Sb, Bi).

Для золото-сульфоантимонитовой минеральной ассоциации зависимость распространённости элементов в этих триадах подобна. А в составе золото-сульфотеллуридного минерального типа распространённость обратная для Au — Ag — Cu и прямая для (As — Sb — Bi).

Пробность золота выше в составе золото-сульфотеллуридного минерального типа (от 920 до 990 промилле), средняя — в составе золото-сульфоантимонитового и золото-халькопирит-сфалерит-галенитового минерального типа (800-870 промилле), наименьшая — в составе золото-пирит-арсенопиритового минерального типа (787-830 промилле).

В целом селективный анализ минералого-геохимической зональности эндогенных золоторудных месторождений позволил выявить следующее.

1. Рудная геохимическая зональность одностадийного рудообразования отражается в составе минеральных типов рудных месторождений.

2. Порядок изменения концентраций химических элементов в рядах геохимической зональности вне зависимости от минеральных типов золоторудных месторождений отвечает закону прямой или обратной их распространённости в составе земной коры в зависимости от атомных масс для типоморфных геохимических ассоциаций  $Cu — Ag — Au, As — Sb — Bi$ , а для золото-сульфотеллуридного и золото-шеелит-вольфрамитового минерального типа, кроме того —  $Sb — Te, Mo — W$ . Т.е. фундаментальной особенностью образования минералого-геохимической зональности золоторудных месторождений является соответствие положения типоморфных атомов химических элементов в рядах зональности прямой или обратной периодической распространённости в составе земной коры в зависимости от атомных масс и геологических особенностей, регрессивного или прогрессивного рудообразования. Таким образом, уже на поисковой стадии, если ясна регрессивная или прогрессивная модель рудообразования (определяется на основе определения температуры минералообразования минералов, входящих в тот или иной минеральный тип) геохимическая зональность может быть определена достаточно строго. А оценка относительного уровня вскрытия рудных тел может быть дана по градиенту изменения концентраций отношений надрудных к подрудным элементам.

3. Связанные сульфидной формой золото, серебро, висмут, теллур, как правило, входят в состав золото-пиритовой, золото-арсенопиритовой, золото-халькопирит-сфалерит-галенитовой, золото-сульфоантимонитовой и золото-сульфотеллуридной минерализации. А самородные выделения золота-2, серебра-2 и висмута пространственно связаны с наиболее поздними минералами в составе рудной массы в связи с диафорическими или каким-либо другим видом преобразования руд в заключительную стадию. В этой связи при оценке перспективности золоторудных объектов (особенно на поисковой стадии выявления вертикальной минералого-геохимической зональности) необходимо учитывать возможность нахождения наибольших концентраций связанных компонентов (золота, серебра, висмута, теллура) с сульфидами на ранних стадиях минералообразования и их свободных самородных выделений — на поздних. Для этого необходимо минералогическое опробование с завершением анализа монофракций на золото пробирным методом, поскольку максимальные концентрации (а зачастую и запасы) связанного (упорного) золота в полигенных и полистадийных рудных объектах приходятся как раз на сульфиды. Доля свободного золота-2 обычно уступает по запасам связанного сульфидной формой золота-1.

4. Основные (наиболее распространённые) сквозные минеральные компоненты золотых руд различных минеральных типов и элементы-примеси в них формируют региональную пространственную (вертикальную, латеральную) геохимическую зональность (п. 4 таблицы) относительно вскрытых гранитоидов: от золото-шеелит-вольфрамит-сульфотеллуридной к золото-пирит-арсенопиритовой, золото-халькопирит-сфалерит-галенитовой, золото-серебро-сульфоантимонитовой минерализации.

5. Сущность геохимической зональности рудных месторождений состоит в том, что вне зависимости от уровня организации вещества информация о пространственном распределении химических элементов сохраняется на уровне рудного тела, первичного ореола, месторождения, рудного поля, рудного узла. В том числе, если взять отношения концентраций примесей ведущих рудогенных элементов в составе сквозных минералов

на разных сечениях рудного тела, то порядок изменения этих отношений в рудах и первичных ореолах будет подобным. Это открывает возможность выявления первичной зональности рудных тел и месторождений на поисковой стадии, когда геолог располагает ограниченными сечениями рудных тел и первичных ореолов.

#### Возможность определения геохимической зональности методом одного сечения

Смысл такого подхода связан с тем, что, в первом приближении, в рамках одной стадии рудообразования зональность распределения элементов в составе рудных тел и их первичных ореолах подобна.

На нижеследующем рисунке 1 отражена принципиальная схема образования рудного тела и его первичного ореола в условиях одной стадии. При наклонном залегании рудного тела мощность первичного ореола чаще всего (например, снизу вверх в направлении движения гидротермальных растворов) больше в висячем, чем лежащем боку. Экспериментальное исследование вертикальной геохимической зональности для оценки уровня вскрытия рудного тела связано с необходимостью иметь несколько (как минимум три) разобъённых сечения по его падению. На ранней поисковой стадии и в условиях слабой обнаженности это обычно не достигается. Следовательно в рамках подобия формирования зональности первичного ореола и рудного тела можно взять отношения концентраций элементов в составе сечения первичного ореола к составу сечения руды (*ε:в, д:б, з:а*) и полученные ряды изменения градиентов концентрации относительно верхнего и нижнего сечений в принципе должны совпадать с градиентами изменения концентраций рудогенных элементов от сечения *а* к *б*, от *б* к *з*, от сечения *з* к *д*, от *д* к *ε*.

Основная сложность заключается в точном определении границы первичных ореолов и рудных тел в полевых условиях, поскольку минеральный и химический состав вмещающих пород и околорудных ореолов различен. Это может привести к ошибкам в оценке градиентов изменения концентраций накопления одних и рассеяния других элементов, в том числе в оценке положения интересующих нас рудогенных элементов в ряду зональности [10-12].

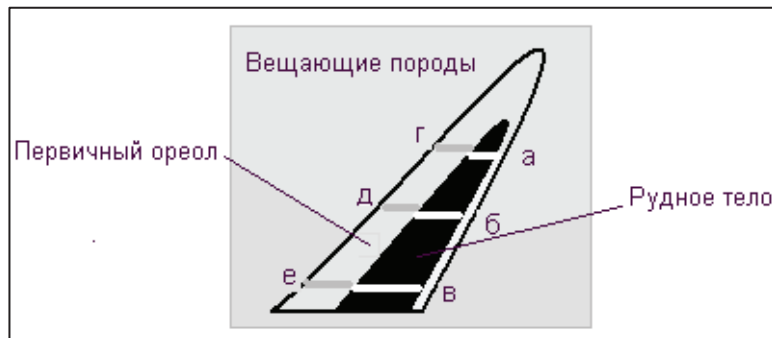


Рис. 1. Принципиальная схема формирования рудного тела и первичного ореола в рамках одностадийного рудообразования. Здесь:

*а, б, в* – сечения при опробовании рудного тела по его падению;  
*з, д, е* – сечения при опробовании первичного ореола вблизи сечения рудных тел

Для жильных образований это проще, чем для тел, представленных минерализованными зонами. Однако опытным путём секционного опробования первичных ореолов эта сложность может быть устранена.

В качестве примера проиллюстрируем поведение минералогической и геохимической зональности рудного поля при формировании наклонно залегающих

золоторудных тел сульфотеллуридного минерального типа [5], сформированных в один гранитоидный этап в направлении от Дыбинского массива разными методами.

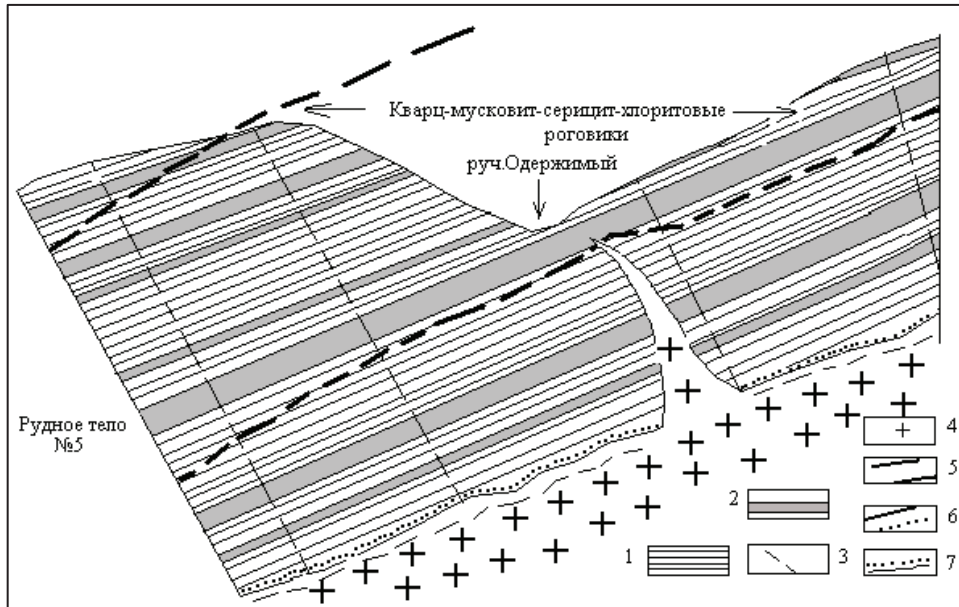


Рис. 2. Наклонно залегающие ленточные штокверки прокварцованных песчаников рудопроявления Одержимый в кровле Дыбинского массива гранодиоритов

Здесь: 1-алевролиты; 2-прокварцованные песчаники с золото-сульфотеллуридной минерализацией; 3-дробление в поперечных трещинах. Ленточные штокверки прокварцованных песчаников рудопроявления Одержимый: 1-алевролиты; 2-прокварцованные песчаники с золото-сульфотеллуридной минерализацией; 3-дробление в поперечных трещинах; 4. гранодиориты Дыбинского массива  $K_{1,2}$ ; 5-контур кварц-мусковит-серицит-хлоритовых роговиков; 6- контур биотит-кордиеритовых роговиков; 7- контакт массива с ленточными штокверками.

Зональность (таблица) в направлении от массива к роговикам разных фаций представлена следующими последовательно сменяемыми минеральными ассоциациями в контактовых роговиках среди ленточных штокверков прокварцованных песчаников ранней-поздней перми, кварцево-жильных и кварц-карбонат-сульфидных тел:

- кварц-мусковит-молибденит-вольфрамит-шеелитовой среди кордиеритовых роговиков;
- кварц-мусковит-серицит-хлорит-золото-сульфотеллуридной среди кварц-мусковит-серицит-хлоритовых роговиков;
- золото-пирит-пирротин-арсенопирит-лёллингитовой среди слабоороговикованных пород хлоритовой субфации регионального метаморфизма;
- кварц-карбонат-антимонитовой (без золота);
- кварц-карбонат-сфалерит-галенитовой с сульфосолями серебра.

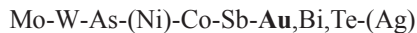
Обобщённый ряд пространственной (в направлении от массива) минералогической зональности Дыбинского рудного узла без учёта сквозных жильных минералов выглядит так:

$MoS_2$  —  $(Fe, Mn)WO_4$ ,  $CaWO_4$  —  $Au, Bi_2Te_2S, Bi_2S_3, Bi$  —  $FeS_2, Fe_{1-x}S$  —  $FeAsS, FeAs_2$  —  $Sb_2S_3$  —  $ZnS, PbS$  + сложные сульфосоли  $Pb, Sb, Ag$ .

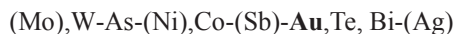
Обобщённый ряд минералогической зональности рудных тел (ленточных штокверков) месторождения Одержимый в направлении от массива выглядит частью подобия минералогического ряда зональности Дыбинского рудного узла:

$MoS_2$  -  $(Fe, Mn)WO_4$ ,  $CaWO_4$  -  $Au, Bi_2Te_2S, Bi_2S_3, (Pb \text{ II } Bi_2 \text{ III})S_4, Bi$  -  $FeS_2, Fe_{1-x}S$  -  $FeAsS, FeAs_2$

Обобщённая геохимическая зональность рудных тел представлена следующим рядом в направлении от гранитоидного массива (здесь и ниже в скобках показаны элементы значимых концентраций в сечениях, встречаемость которых в составе руд до 50%):



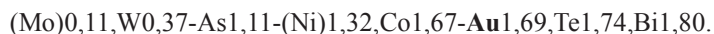
Геохимическая зональность, рассчитанная по отношению градиентов концентраций - рудное тело № 5: первичный ореол:



Здесь необходимо заметить следующее. Формирование ленточных штокверков (пластов прокварцованных песчаников) связано с проникновением гидротермальных растворов в межслоевое пространство песчаников в направлении от гранодиоритов по падению пластов. Алевролиты выполняют не только экранирующую роль, но в них формируются конденсированные (сжатые) первичные ореолы. В этом смысле абсолютно неверно предполагать формирование рудной, минеральной и геохимической зональности вкрест простираения переслаивания песчаников и алевролитов.

Ранговой корреляцией устанавливается значимая положительная (с вероятностью 90-99%) корреляция золота с теллуром, висмутом, кобальтом, мышьяком (так называемая пятиэлементная геохимическая группа коррелятов в золото-сульфотеллуридной минерализации) при незначимой положительной корреляции с вольфрамом и сурьмой. Свободные выделения золота с размером частиц от 0,05 до 5 мм наблюдается в тесном срастании с кварцем, сульфотеллуридами висмута, арсенопиритом. Максимальные концентрации золота устанавливаются в сульфотеллуридах висмута без разделения на тетрадимит и висмутин (до 1700 г/т). Максимальные содержания золота в монофракциях арсенопирита достигают 300 г/т, а в монофракциях кварца в пределах рудного тела №5 до 2 г/т. За пределами участка Одержимый в составе жильных образований антимонита содержания золота не превышают 0,8-1,3 г/т. Ввиду малых концентраций вольфрамита и шеелита в составе рудных тел, содержания в них золота не определялись.

Геохимическая зональность, выраженная показателями корреляционной матрицы (Кокин А.В. Опыт использования корреляционного анализа для установления вертикальной геохимической зональности эндогенных месторождений // ВИЭМС. Геология, методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Вып.12. М. - 1978. 22.с.) определяется как алгебраическая сумма корреляций каждого элемента с каждым в составе одного и того же набора элементов с учётом знака связи):



В скобках курсивом показаны значения алгебраической суммы коэффициентов ранговых корреляций. При этом в подавляющих случаях в верхних рудных сечениях корреляция основных рудогенных элементов максимально положительна в условиях вхождения золота в состав минералов-концентраторов. В данном случае сульфидов. То есть, зональность в составе рудных тел выражается также информационным показателем корреляций основных рудогенных элементов в составе рудных тел. И на поисковой стадии в рамках одного сечения рудного тела, разбитого на секции (например, при пунктирно-бороздовом опробовании необходимо в таком случае отбирать не менее 12 проб для достижения условий 95% вероятности значимой корреляции исследуемых элементов) можно установить геохимическую зональность, как отражение её в корреляционных связях.

Резюмируя, можно заключить следующее.

1. Минералогическая зональность по основным рудогенным элементам в составе рудных минералов подобна геохимической зональности в составе примесей в



рудах. При этом важнейшим показателем продуктивности части рудных тел по золоту является высокие содержания золота в составе монофракций. Для золото-сульфотеллуридного минерального типа контуром высоких концентраций золота являются участки рудных тел с наличием сульфотеллуридов висмута и арсенопирита. Поэтому на поисковой стадии для выявления продуктивных частей рудных тел по золоту необходимо селективное опробование на золото монофракций всего спектра минералов и затем по результатам минералогического картирования устанавливать контуры промышленно значимых концентраций золота.

2. Минералогическая зональность рудного поля, узла и рудных тел по основным рудогенным элементам в составе рудных минералов, как правило, подобна геохимической зональности в составе примесей в рудах. В этом смысле на поисковой стадии открывается возможность оценки геохимической зональности по составу примесей в монофракциях рудных минералов. Что менее затратно и более эффективно.

3. Геохимическая зональность отражается в составе первичных ореолов и, как правило, подобна зональности в рудных телах, сформированных в один этап и стадию. В полистадийных месторождениях зональность может быть скрыта за счёт наложения разных по времени и составу минеральных стадий. Для этой цели необходимо использование предложенного выше селективного метода исследования минералогической и геохимической зональности путем разделения рудообразования на минеральные типы, определения их границ распространения в составе руд и первичных ореолов в стадийной последовательности от ранних к поздним.

### Литература

1. *Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А.* Золото-теллур-висмутовая минерализация месторождения Задержнинское (Южное Верхоянье, Восточная Якутия) // *Минералогия*, 2016. № 2. С. 10–19.
2. Полиформационное золоторудное месторождение / *Г.Н. Гамянин, М.К. Силичев, Н.А. Горячев, Н.В. Белозерцева* // *Геология рудных месторождений*, 1985. № 5. С. 86–89.
3. Золоторудные месторождения России / Ред. *М.М. Константинов*. М.: Акварель. 2010. 350 с.
4. *Кокин А.В.* Минеральные типы золоторудных месторождений Юго-Восточной Якутии // *Отечественная геология*, 1994. № 8. С. 10–17.
5. *Кокин А.В.* Золоторудное проявление Одержимый перспективный рудный объект для промышленного освоения // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 60-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН (5–7 апреля 2017 г.)*. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2017. С. 90-95.
6. *Кокин А.В.* Трансляция самоподобия последовательности первичного распределения химических элементов в составе кластеров золоторудных месторождений // *Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том VII. Часть 1*. М., 2017. С. 441-454.
7. *Кокин А.В.* Рудно-геохимическая зональность эндогенных рудных месторождений как следствие распространённости, периодичности и термодинамических свойств элементов // *Вестник Пермского университета. Геология*, 2015. Вып. 3 (28). С. 43-55.
8. *Кокин А.В., Слюсарь А.В., Шумакова Г.Е.* Сохранение информации о первичной распространённости химических элементов на разных уровнях организации вещества // *Научный журнал "Globus" мультидисциплинарный сборник научных публикаций. XXII международная научно-практическая конференция «Достижения и проблемы современной науки» (04 августа 2017г.)*. 1 часть. С-Пб., 2017. С. 5-17.
9. *Кокин А.В., Троценко В.В.* Зональность эндогенных рудных месторождений как отражение фундаментальных свойств химических элементов // *Наука Юга России*, 2016. Т.12. № 2. С. 28-42.
10. *Овчинников Л.Н., Лутков Р.И.* Геохимические типы и зональность колчеданного оруденения Урала. М.: Наука, 1983. 183 с.
11. *Овчинников Л.Н.* Образование рудных месторождений. М.: Недра, 1988. 256 с.
12. *Овчинников Л.Н.* Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990. 246 с.
13. *Рундквист Д.В., Неженский И.А.* Зональность эндогенных рудных месторождений. Л.: Недра 1975. 224 с.

14. *Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых: изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1976. 688 с.
15. *Эммонс У.Х.* Введение в учение о рудных месторождениях: перев. с англ. М.-Л., 1925. 325 с.
16. *Spurr D.E.* The ore magmas: A series of essays on ore deposition. N. Y., 1923. Vol. 1–2.
17. *Emmons W.H.* Gold deposits of the world, N.Y. – L., 1937. p. 325.
18. <http://fccland.ru/rudnye-mestorozhdeniya/4385-zonalnost-mestorozhdeniy.html>