



## ГЕОХИМИЯ ЗОЛОТА В УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ РУДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМАХ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ

А. В. Кокин

Исследован химический состав и примеси минералов, руд, вмещающих пород золоторудных месторождений и проявлений в углеродсодержащих рудообразующих системах юго-восточной Якутии на основе расчета отношений концентраций химических элементов и золота к региональным породным и минеральным кларкам. Установлено, что золото вне зависимости от уровня организации геологических тел (минерал, руда, вмещающая среда, магматические образования) входит в ассоциации элементов в строгом соответствии с космогеохимической классификацией Ю. Г. Щербакова. Это означает, что процесс фракционирования химических элементов в истории образования земной коры и геологических тел в ее составе приводит к формированию устойчивых по степени подвижности геохимических ассоциаций, «диктующих» свойства и условия вхождения в них золота в зависимости от источников рудообразования.

**Ключевые слова:** геохимия, золото, ассоциации, эволюция, источники, черные сланцы, космогеохимические ассоциации Ю. Г. Щербакова.

## GOLD GEOCHEMISTRY IN CARBON-BEARING ORE-FORMING SYSTEMS OF SOUTH-EASTERN YAKUTIA

A. V. Kokin

The chemical composition and impurities of minerals, ores, host rocks of gold-ore deposits and occurrences in carbonaceous ore-forming systems of South-Eastern Yakutia is investigated using calculations of chemical elements and gold ratios to regional rock and mineral Clarkes. It is found that gold is included in element associations in strict correspondence with the space geochemical classification of Yu. G. Shcherbakov, regardless of the geological bodies' organization level (mineral, ore, host medium, magmatic formations). It means that the chemical elements fractionation process in the history of the Earth's crust and geological bodies formation therein leads to the creation of stable (by mobility degree) geochemical associations, dictating their properties and conditions of gold occurrence, depending on the ore formation sources.

**Keywords:** geochemistry, gold, associations, evolution, sources, black shales, Yu. G. Shcherbakov's space geochemical associations.

Известно, что золото в зависимости от формационных и минеральных типов золоторудных месторождений [2] образует присущие ему устойчивые рудогенные ассоциации элементов-спутников, часто обладающих значимыми положительными корреляционными связями. Возникает вопрос: а не может ли образовывать подобные ассоциации золото в составе осадочных и изверженных пород, которые чаще всего рассматриваются в качестве источников золота и сопутствующих ему металлов в рудных месторождениях?

Для ответа на этот вопрос автор попытался исследовать поведение золота не только в различных по составу осадочных и изверженных пород, но и минералах рудопоявлений и месторождений в юго-восточной части Якутии в разрезе земной коры мощностью 33 км в возрастном интервале от рифея по мел включительно.

Объектом исследований послужили не только черносланцевые толщи терригенного (поздний карбон – ранняя юра) верхоянского комплекса Южно-Верхоянского синклинория, вмещающие

золотое оруденение разных морфологических и минеральных типов, но и терригенно-карбонатный (рифей – кембрий) комплекс Кыллахского поднятия, карбонатный и терригенный комплекс (кембрий – ранний карбон) Сетте-Дабанского антиклинория, а также примеси в минералах золоторудных месторождений и проявлений.

На основе анализа надкларковых концентраций золота (относительно региональных) в осадочных и изверженных породах региона, ранговой корреляции элементов в составе золоторудных тел, примесей в минералах золотых руд разного возраста, стратиграфического положения установлено следующее.

1. Надкларковые концентрации золота в карбонатно-терригенном слабо углеродистом комплексе Кыллахского поднятия (пионерская свита позднего рифея) и терригенно-карбонатном, карбонатно-терригенном комплексе силура – девона Сетте-Дабанского антиклинория образуют устойчивые надкларковые геохимические ассоциации с Co, Cu, Zn, спорадически Hg. В составе руд на этих же стратоуровнях (в жилах, прокварцованных песчаниках пионерской свиты рифея, в стратифицированных телах медных проявлений рифея



и венда, жильных телах) золото входит в эту же устойчивую геохимическую ассоциацию, и такая же устанавливается в составе пирита. Цинк часто не образует значимой положительной корреляции со свинцом ни в рудах, ни в примесях минералов, что может указывать на разные источники свинца и цинка в рудах, а вхождение в них Pb и Zn связано с разными (наложенными) стадиями рудного процесса. Геохимическая ассоциация золота с Co, Cu, Zn, спорадически Hg совпадает с группой химических элементов, выделенных Ю. Г. Щербаковым [6] в составе *подвижных* фемических центростремительных гетерофилов в его космогеохимической классификации элементов, которая построена по принципу разделения элементов по степени их подвижности относительно углистых хондритов, базальтов и сланцев в земной коре.

2. В углеродсодержащих (0,5–2 % C<sub>орг</sub>) терригенных толщах позднего карбона – ранней перми (в них сосредоточены основные разведанные запасы и ресурсы золота) Au образует устойчивые геохимические ассоциации с надкларковыми концентрациями S, As, Pb, Sb, Ag, которые в космогеохимической классификации элементов Ю. Г. Щербакова входят в состав *подвижных* сиалических дефицитно-центробежных элементов вместе с Cl, Br, I. Геологи нередко не учитывают последние элементы и не рассматривают их в качестве ассоциантов, поскольку они не анализируются в составе ни руд, ни пород, хотя давно известно, что золото образует соединения с хлором, встречается в виде йодированного золота и т.д.

В составе стратифицированных золотокварцевых жил, жильных зон, пластов прокварцованных песчаников, в секущих минерализованных зонах дробления, золотокварцевых жилах, располагающихся на этом же стратоевровне, золото входит в эту ассоциацию, как и в состав избыточных относительно *минеральных кларков* сульфидов железа, свинца, сульфосолей сурьмы, серебра. Средний химический состав верхоянского комплекса отвечает составу гранодиоритов. Свинец часто не образует высоких значимых положительных корреляций с цинком, что также косвенно может указывать на разделение свинца и цинка в процессе их миграции, но их объединение в составе руд. *Именно этим, видимо, обусловлено попадание свинца и цинка в разные геохимические ассоциации Ю. Г. Щербакова.* Вхождение в состав золотых руд Pb и Zn, а иногда их положительная и значимая корреляция, скорее всего, может объясняться специфическими геохимическими свойствами самой среды рудообразования.

3. Надкларковые концентрации золота в составе основных пород (базальты и диабазы позднего девона) образуют ассоциацию с Fe, Ni, реже Mn. Эта ассоциация в космогеохимической классификации элементов Ю. Г. Щербакова совпадает с группой *малоподвижных* фемических центростремительных гетерофилов. В составе гидро-

термально-метасоматически измененных базальтов и диабазов Сетте-Дабана, с наложенной на них более поздней минерализацией, Au образует устойчивую ассоциацию элементов с S, As, Pb, Sb, Ag, в том числе в составе пирита и арсенопирита минерализованных даек диабазов, и утрачивает корреляции с Fe, Ni, Mn.

4. Надкларковые концентрации Au в составе гранодиоритов ранне-позднемелового возраста образуют теснейшую ассоциацию с Bi, Te, Co, As, W, которая Ю. Г. Щербаковым отнесена к сиалическим подвижным и малоподвижным оксифилам. В условиях метасоматических и гидротермальных преобразований гранитоидов разного возраста Au образует устойчивую ассоциацию с S, As, Pb, Sb, Ag в рудах.

5. В условиях пространственной связи золотой минерализации с гранодиоритами, локализованными в углеродистой толще ранней перми, Au в рудах образует раннюю ассоциацию с S, As, Pb, Sb, Ag и позднюю – с Co, W, Bi, Te. При этом в составе пирита и арсенопирита устанавливается смешанная ассоциация Au с S, As, Pb, Sb, Ag, Co, W, Bi, Te, что согласуется с двухстадийностью рудообразования при участии гранодиоритового и гранитового магматизма ранне-позднемелового и позднемелового возраста в юго-восточной Якутии.

Таким образом, в истории химической дифференциации вещества стратифицированной коры юго-восточной Якутии на разном уровне организации геологических тел (осадочных комплексов, изверженных пород, в рудах и минералах) устанавливаются одни и те же либо избыточные (надкларковые), либо дефицитные (ниже кларковых) геохимические ассоциации золота с элементами сиалических и фемических гетерофилов, центробежных сиалических оксифилов в соответствии с космогеохимической классификацией Ю. Г. Щербакова по степени их подвижности (центростремительности – центробежности). При этом в разрезе земной коры мощностью около 33 км от рифея до мела включительно наблюдается дифференциация ассоциаций элементов от **Au**, Fe, Ni, Mn, (Mg, Cr) в складчатой структуре Кыллахского поднятия (с возрастом карбонатно-терригенных осадков от рифея до кембрия и наличием магматических тел от ультраосновных щелочных до основных пород венда – девона) к **Au**, Cu, Zn, (Co, Hg) в складчатой структуре Сетте-Дабанского антиклинория (с возрастом терригенно-карбонатных осадков от кембрия до раннего карбона и наличием в его составе преимущественно основных пород). Далее к Na, **Au**, Ag, As, Pb, Sb и затем к K, Al, **Au**, Te, Bi, W, Co, As ассоциации в складчатой структуре Южно-Верхоянского синклинория в составе терригенного верхоянского комплекса (с возрастом от среднего карбона до ранней юры и наличием в нем изверженных пород от основного (поздняя пермь, ранняя юра) до ультракислого состава ранне-позднемелового возраста).



Иными словами, в направлении от древних к молодым геологическим образованиям на фоне общего раскисления состава осадков и магматизма Au входит в ассоциации элементов, соответствующие химической дифференциации земной коры по принципу увеличения их центробежности в соответствии с космогеохимической классификацией Ю. Г. Щербакова.

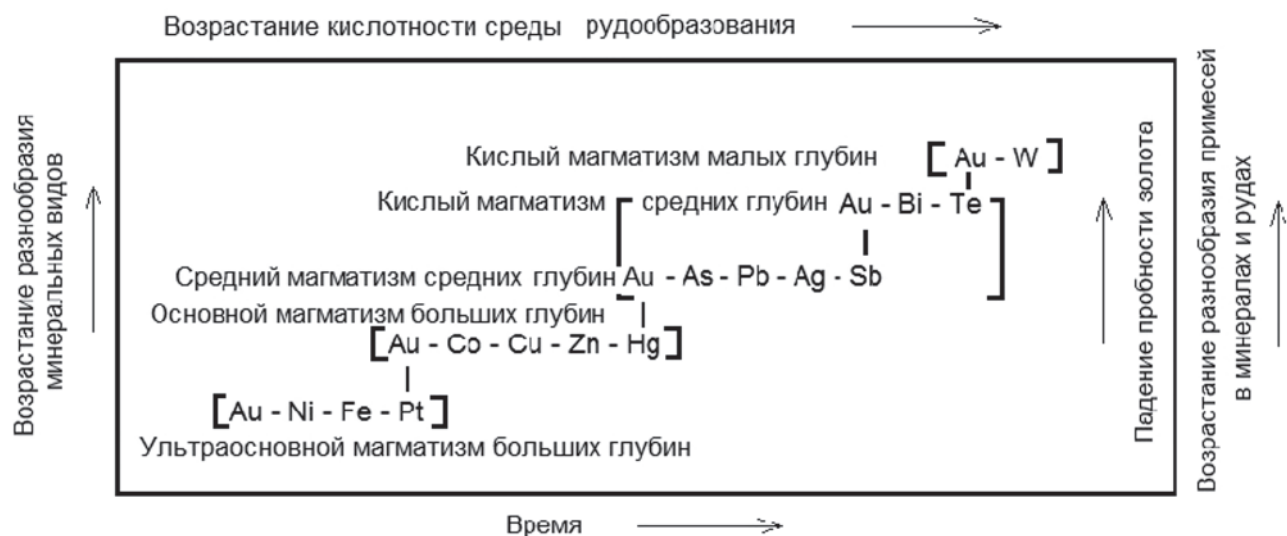
Наличие в составе руд смешанных ассоциаций с золотом может указывать на гетерогенный источник рудообразования золоторудных месторождений. Например, в составе руд Нежданинского месторождения устанавливается смешанная группа рудогенных элементов как в рудах, так и в составе рудных и жильных минералов: Au, Ag, Co, Ni, Pt, Cu, Zn, Pb, As, Sb, W, Bi. Разбив эту группу в соответствии с космогеохимической классификацией Ю. Г. Щербакова: Au, Ni, Pt → Au, Co, Cu, Zn → Au, As, Pb, Ag, Sb → Au, (W, Bi), устанавливаем, что золото входит в четыре ассоциации элементов, положительно и на высоком уровне значимости коррелируя с ними, кроме положительной, но не значимой связи с W и Bi. Корреляция золота с платиной не проводилась в связи с тем, что автор не располагал данными по анализам платины в составе руд (платиноиды в рудах зоны № 1 впервые были установлены М. К. Силичевым и Н. В. Белозерцевой в конце 1970-х гг.). Значит, можно заключить, что руды Нежданинского месторождения сформировались в условиях полигенности и полихронности с участием как основного и ультраосновного магматизма, так и кислых пород и вмещающей среды пермских отложений, характеризующихся надкларковыми концентрациями золота, что подтверждается изотопными данными [1].

Выявленные закономерности вхождения золота в состав геохимических ассоциаций в процессе дифференциации химического состава

земной коры юго-восточной части Якутии действительно можно рассматривать как новое стереогеохимическое свойство [3, 4] Ю. Г. Щербакова (одного из выдающихся учеников Ф. Н. Шахова). Этот критерий можно использовать для геохимического картирования с целью диагностики стадий и источников рудообразования.

Свойство образовывать устойчивые геохимические ассоциации элементов необходимо относить к фундаментальным, поскольку они сохраняются на разном уровне организации геологических тел и являются следствием направленной во времени химической дифференциации вещества земной коры. Уникальность новых коллективных свойств, отражающихся в геохимических ассоциациях элементов, необходимо рассматривать как синергетическое свойство ассоциантов «диктовать» новые геохимические условия для вхождения в ассоциации элементов, обладающих в отдельности отличительными химическими свойствами, в строгом соответствии с периодическим законом Д. И. Менделеева. Иначе говоря, химический индивидуализм элементов при вхождении в ассоциацию исторически формирующейся общности отчасти подавляется ее коллективными свойствами сонахождения в геологических телах разного уровня организации.

Свойство непрерывного пространственно-временного разделения вещества в геохимической истории – следствие направленности его дифференциации в условиях непрерывно возрастающей сложности и подвижности элементов, ведущей к появлению все более сложных по составу и разнообразию минеральных видов, обладающих способностью к концентрации (см. рисунок). При этом все установленные ассоциации золота при прецизионных измерениях концентраций в разных рангах геологических тел могут входить в состав как избыточных, так и дефицитных



Ассоциации элементов Ю. Г. Щербакова в золоторудных месторождениях и проявлениях юго-восточной Якутии с образованием золотоплатинового, золотортутного, золотосурьмяного и золототеллуридного геохимических типов [2]



ассоциаций в полном или сокращенном сообществе, а значения относительных коэффициентов накопления элементов в указанных рядах давно используются для металлогенических построений [5].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Источники** металлов крупного орогенного золоторудного Неждановского месторождения (Якутия, Россия): результаты высокоточного изучения изотопного состава свинца (MC-ICP-MS) и стронция [Текст] / И. В. Чернышов, Н. С. Бортников, А. В. Чугаев [и др.] // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53, № 5. – С. 395–418.
2. **Кокин, А. В.** Минеральные типы золоторудных месторождений Юго-Восточной Якутии [Текст] / А. В. Кокин // Отечественная геология. – 1994. – № 8. – С. 10–17.
3. **Кокин, А. В.** Стереогеохимия Ю. Г. Щербакова и проблемы геохимического картирования [Текст] / А. В. Кокин // Уральский геологический журнал. – 2009. – № 6. – С. 88–92.
4. **Щербаков, Ю. Г.** Геохимические свойства и распределение элементов в породах [Текст] / Ю. Г. Щербаков // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 2. – С. 80–91.
5. **Щербаков, Ю. Г.** Об индикаторном значении отношений металлов в золоторудных месторождениях [Текст] / Ю. Г. Щербаков, Н. В. Рослякова // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. – Новосибирск : Наука, 1979. – С. 129–135.
6. **Щербаков, Ю. Г.** Периодическая система и космогенохимическое распределение элементов [Текст] / Ю. Г. Щербаков // Геология и геофизика. – 1982. – № 1. – С. 77–84.

© А. В. Кокин, 2014