

## ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАГРАГРА-ДЕ-АККА (МАРОККО)

**В.И. Лебедев**

*Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г. Кызыл*

Работа содержит краткую характеристику геологического строения “бутоньеры” *Tagragra d’Akka* и физико-химических условий образования кварцево-жильных месторождений золота, которые локализованы в интенсивно дислоцированных зеленокаменных метаморфизованных докембрийских графитизированных метапелитах, прорванных лейкогранитами ( $2049 \pm 5$  млн лет) и гранофирами ( $1755 \pm 25$  млн лет). Обсуждаются вопросы структурного контроля золотого оруденения разрывными нарушениями в узлах пересечения относительно разновозрастных даек метабазитов с абсолютными датировками по мусковиту ( $600 \pm 10$  млн лет) из сопровождающих их метасоматитов.

*самородное золото, минеральные типы, бутоньера, дайки, лейкограниты, гранофиры, флюидный режим, метапелиты, графитизация*

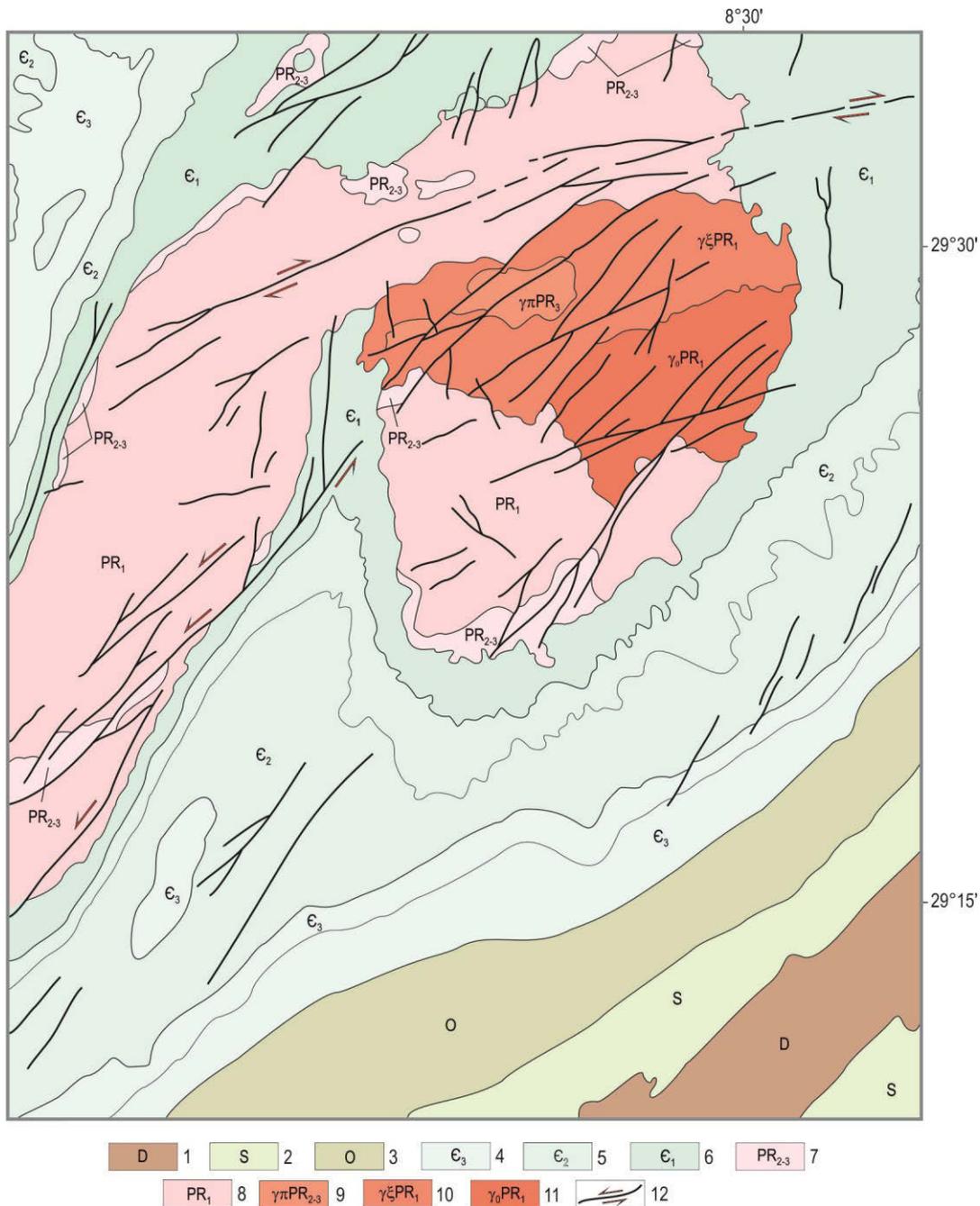
## FLUID MINEROGENESIS OF THE TAGRAGRA DE AKKA GOLD-ORE DEPOSIT (MOROCCO)

**V.I. Lebedev**

The paper contains a brief description of the geological structure of "bud" Tagragra d'Akka and physico-chemical formation of quartz-vein gold deposits of the gold which are intensely dislocated in a greenstone metamorphosed Precambrian graphitic metapelites intruded by leucogranites ( $2049 \pm 5$  Ma) and granophyres ( $1755 \pm 25$  Ma). Structural control aspects of gold mineralization by faults in the clusters of intersection relatively heterochronous dikes of metabasites with absolute dating on muscovite ( $600 \pm 10$  Ma) of accompanying metasomatites are discussed.

*native gold, mineral types, "bud", dikes, leucogranites, granophyres, fluid case, metapelites, graphitization*

Одним из богатейших золотоносных рудных регионов, расположенных на севере Африканской платформы в западной части складчато-блоковой области Анти-Атлас, является «бутоньера» *Tagragra d’Akka* (рис. 1). Она представлена жестким выступом глубоко метаморфизованных образований протерозоя среди собранных в коробчатые складки отложений кембрия. Выявленные здесь золоторудные объекты приурочены к эрозионному «окну», в котором вскрыты интенсивно дислоцированные зеленокаменно измененные мета-терригенные породы раннего протерозоя. Они прорваны лейкогранитами ( $2049 \pm 5$  млн лет) и гранофирами ( $1755 \pm 25$  млн лет), а также многочисленными дайками диабазов (рис. 2) с абсолютными датировками по мусковиту из сопровождающих их метасоматитов ( $600 \pm 10$  млн лет), а также редкими – аплитов, панафриканской тектономагматической активизации [4, 5]. На метаморфитах и гранитоидах раннего, среднего протерозоя несогласно залегают вулканогенные, эвапоритовые и карбонатно-терригенные субплатформенные осадки позднего протерозоя.

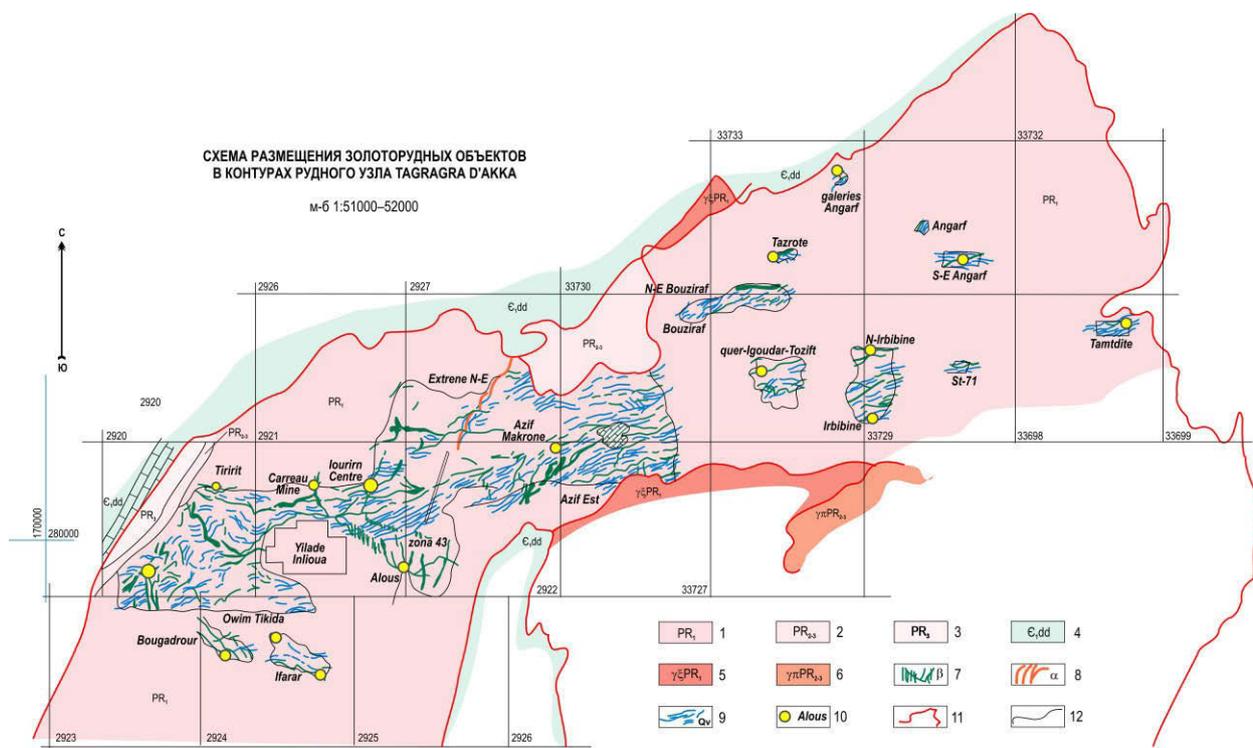


**Рис. 1. Схема геологического строения «бутоньеры» Tagragra d'Akka и сопредельных территорий Анти-Атласа (Марокко).**

*Стратифицированные толщи:* 1 – девонские, 2 – силурийские, 3 – ордовикские, 4 – позднекембрийские, 5 – среднекембрийские, 6 – раннекембрийские, 7 – средне- и позднепротерозойские, 8 – раннепротерозойские; *интрузивные образования:* 9 – гранофиры позднего протерозоя, 10 – лейкократовые гранит-порфиры раннего протерозоя, 11 – плагиограниты-тоналиты раннего протерозоя; 12 – системы разрывных нарушений.

Одной из задач экспертного изучения и оценки перспектив обнаружения новых металлоносных структур с богатым содержанием золота, является выявление пространственно-временных закономерностей рудообразования. Они могут служить каркасом и эффективным средством увязки фрагментов рудообразующих систем при разработке геолого-генетических моделей конкретных объектов золотокварцевой

малосульфидной мышьяковистой формации и создании интегральной модели золоторудного узла Tagragra d'Akka. При этом необходимо было учесть информацию об особенностях проявления геодинамических, металлогенических и палеогеохимических процессов, характеризующих условия функционирования уникальной рудообразующей системы, а в итоге объясняющих причины концентрированного отложения золота в локальном пространственно-временном объёме «бутоньеры» Tagragra d'Akka.



**Рис. 2. Схема размещения золоторудных объектов в контурах рудного узла Tagragra d'Akka.**

1 – зеленокаменно изменённые метapelиты раннего протерозоя; 2 – вулканогенные образования среднего протерозоя; 3 – молассоиды позднего протерозоя; 4 – терригенно-карбонатная толща нижнего кембрия; 5 – лейкократовые граниты раннего протерозоя; 6 – гранофиры среднего протерозоя; 7 – относительно разновозрастные дайки метабазитов; 8 – дайки аплитов; 9 – кварцевые жилы; 10 – эпицентры золотого оруденения и их наименование; 11 – контур “бутоньеры” Tagragra d'Akka; 12 – прочие геологические границы.

Геологами Goldmine de Akka установлено [6], что главнейшим фактором размещения золоторудных объектов в этом рудном узле является структурный контроль. Рудные столбы крутого субвертикального склонения с высокими концентрациями золота приурочены к интервалам кварцевых брекчий на ступенчатых изгибах левосторонних продольных и правосторонних диагональных сдвиговых зон, преимущественно развивающихся вдоль контактов даек хлоритизированных диабазов и долеритов с вмещающими зеленокаменно изменёнными углеродистыми мета-аргиллитами. Это свидетельствует о постконсолидационном формировании рудоносных зон. Для локализации промышленных концентраций золота и сопутствующей прожилково-вкрапленной арсенопирит-пирит-пирротиновой минерализации наиболее благоприятны:

- кварцевые и карбонатно-кварцевые жилы многостадийного образования в сбросо-сдвигах близмеридионального, субширотного и северо-восточного простираний (320–340°, 10–35°, 60–80°, 90–110°);
- системы секущих «лестничных» жил в узлах пересечения даек интенсивно хлоритизированных и сульфидизированных диабазов и долеритов;
- зоны кварцево-жильных штокверков во флексурных изгибах сдвиговых зон и в вертикальных замках складок графитизированных мета-аргиллитов в тектонически нарушенных контактах даек основного состава;
- границы зональной смены окисной (покраснение пород) и закисной (зеленоцветная окраска) обстановок палеогидрогеохимического эпитермального воздействия на хлоритизированные и сульфидизированные дайки диабазов и долеритов.

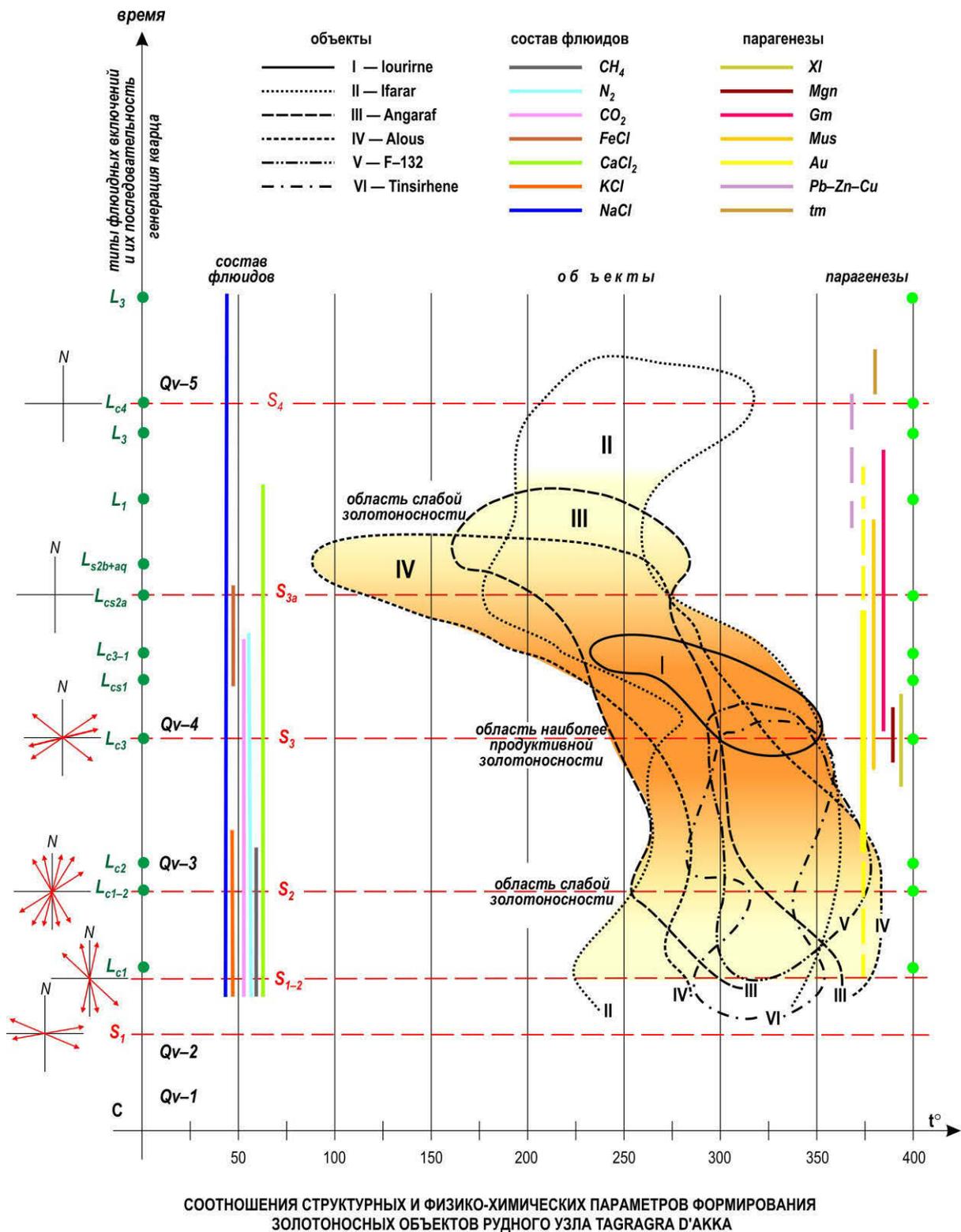
Анализ материалов поисково-оценочных, разведочных и эксплуатационных работ, проведённых в рудном узле Tagragra d'Акка, экспертная оценка геологической ситуации свидетельствуют о том, что рассмотренные рудообразующие системы характеризуются сходными минеральными парагенезисами. Законсервированные в виде флюидных включений в кварце различных генераций металлоносные флюиды, физико-химические и термобарометрические параметры которых определялись в процессе минералого-геохимических исследований образцов из месторождений Iourigine Centre, Ifarar, Angaraf, Tinsirheme, Arous, F-132, F-15, Owim Tikada и Bougadfour [6], отличаются как по составу, так и по свойствам. Главным критерием, позволяющим с высокой вероятностью прогнозировать интервалы промышленных концентраций золота в кварцевых жилах изученных объектов, является наличие в законсервированных включениях контрастного вводно-солевого флюида. Наряду с NaCl, CaCl<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>, он обогащен комплексом таких специфических компонентов как CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> и KCl. В некоторых флюидных включениях присутствует золото в самородной форме и пластинчатый гематит. Этой, относительно низкотемпературной (200–350 °С) стадии флюидогенерации сопутствовало изменение вмещающих пород с синхронным отложением в трещинных сдвиговых системах S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> и S<sub>3</sub> значительных масс кварца последовательных генераций (Qv-2, Qv-3 и Qv-4) в ассоциации с хлоритом, более поздним мусковитом и железо-магниевыми карбонатами с небольшими количествами сульфидов и сульфоарсенидов железа. Околорудный метасоматоз при этом носил в целом щелочной характер и выражен образованием хлорита, актинолита, тремолита, полевых шпатов, пирита, марказита и поздних карбонатов. Смещение хлоридных экзогенных рассолов с глубинными (ювенильными) мышьяковистыми флюидами, насыщенными метаном, азотом и углекислотой способствовало разрушению хлоридных и сульфатных комплексов золота и его выпадению в самородной форме. Именно процесс смешения ювенильных флюидов и экзогенных рассолов [2, 3] обусловил резкое изменение РТV параметров формирующихся гидротермальных растворов и их химизма. Интенсивность поступления в зону рудоотложения образовавшегося металлоносного флюида и изменчивость его состава в значительной мере определялось особенностями эволюции рудно-магматической системы и

пульсацией проявления синхронных стадиям рудного процесса интенсивных тектонических подвижек в сдвиговых зонах.

Поскольку доля мышьяковистых комплексов в составе рудообразующих золотоносных растворов с относительно невысокой плотностью  $\text{CO}_2$  (от 0,14 до 0,77 г/см<sup>3</sup>) в гидротермальном процессе формирования месторождений рудного узла Tagragra d'Akka была невелика, а количество привносимого мышьяка и отношение  $\text{As} / (\text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni})$  имели низкие значения, то всё это способствовало [1] отложению кристаллов и агрегатов пирита, арсенопирита, минеральная форма которых во многом зависела от отношений  $\text{As} / \text{S} / \text{Fe}$  в растворе. По мере прогрессивного нарастания доли ювенильных флюидов в составе рудообразующего раствора, степень его пересыщения по углекислоте и метану в зоне смешения резко возрастала. Это вызывало зарождение большого числа центров кристаллизации и образование мелкозернистых агрегатов руд, цементирующих брекчию жильного кварца (Qv-2 и Qv-3). Для этих условий характерно образование расщепленных и игольчатых кристаллов арсенопирита. В целом рудный этап протекал на фоне пульсационного поступления ювенильных флюидов в область хлоридных экзогенных рассолов. Прерывистость поступления их в полости рудоотложения определялась динамикой развития эндогенного «очага» и пульсацией подтока экзогенных рассолов, что может быть объяснено влиянием экранирующего эффекта вновь образованными трещинами, изменением скорости «раскрытия» трещин, а также скорости и массы поступающего в зону рудоотложения хлоридного рассола. На заключительных стадиях гидротермального процесса, при ослаблении напора хлоридных рассолов нижних гидродинамических уровней, по-видимому, происходило все более интенсивное вовлечение в процесс формирования рудообразующего флюида экзогенных растворов более высоких гидродинамических уровней. Они характеризовались повышенными значениями Eh, низкими – pH, присутствием сероводорода и сульфат-аниона. Участие таких растворов в формировании рудообразующего флюида привело к отложению сульфидного парагенезиса в ассоциации с силикатными минералами и кальцитом.

Гидротермальный процесс, обусловивший формирование кварцевых жил с богатым содержанием золота, характеризовался эволюцией физико-химических параметров, выраженной резким снижением концентрации метана, азота и калия, уменьшением плотности углекислоты, интенсивным падением температуры, давления, окислительно-восстановительного потенциала и кислотности-щелочности металлоносного флюида в результате смешения ювенильных и экзогенных растворов в трещинных системах  $S_{1-2}$ ,  $S_2$  и  $S_3$ . Подтверждением этого вывода служит анализ результатов изучения флюидных включений в кварце различных генераций из месторождений Iourine Centr, Ifarar, Angaraf, Tinsrhene, Alous, F-132, F-15.

На диаграмму (рис. 3), построенную в координатах температуры и относительной последовательности формирования разрывных нарушений, отложения в них кварца с различными типами законсервированных флюидных включений в каждой из его генераций, вынесена интегральная информация о составе гидротермальных растворов,



**Рис. 3. Диаграмма соотношения структурных и физико-химических параметров формирования золотоносных объектов рудного узла Tagragra d'Акка.**

парагенетической ассоциации жильных минералов. Для каждого изученного месторождения показана область температур гомогенизации флюидных включений, подчёркивающая различия в развитии гидротермального процесса в пространстве и времени. Диаграмма выявляет прогностическую особенность флюидного режима: массовый сброс золота и

сопутствующих рудных минералов происходил синхронно с исчезновением из флюидной колонны метана, азота и хлористого калия. Золото выпадало из вводно-солевого углекислотно-кальциево-хлоридного раствора-рассола относительно высокой плотности. Отложение золота возобновлялось многократно и синхронно с повторным обогащением флюида азотом, разрушением углекислотного комплекса в присутствии хлорного железа.

*Автор статьи выражает глубокую признательность за предоставленную возможность изучения месторождений рудного узла Tagragra d'Akka руководителю группы экспертов С.Н. Звереву ОЗГЕО РФ и коллегам-экспертам, руководству фирмы O.N.A. компании Tifnoute Tiranimine и геологам рудника Goldmine d'Akka.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов. М.: Наука, 1975, 339 с.
2. Лебедев В.И. Рудно-магматические системы эталонных арсенидно-кобальтовых месторождений. Новосибирск: Издательство СО РАН, 1998. 136 с.
3. Уайт Д.О. Различное происхождение гидротермальных рудообразующих растворов // Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М. Мир, 1977. С. 464–509.
4. Juery A. Datation U/Pb du socle precambrian du Haut Atlas (Maroc): These Doct. Spec., Univ. VII. Paris, 1976. 85 p.
5. Macha L., Azizi S.M.R., Obraztov B.V. et al. Rapport Relatif aux travaux de Recherches geologiques Assompleis pendant lacampagne 1992–1993 dans La Region des gisements de cobalt de Bou-Azzer (Anti-Atlas, Maroc). (Contr. № 413-1424590./1154). Serv.Geologie CTT O.N.A., Maroc., 1994. 468 p.
6. Zouhair M. Les Paleocirculations fluides dans la Tagragra d'Akka (Anti-Atlas, Maroc). Etude combinee des inclusions fluides et de la Deformation des Quartz Auriferes: consequences pour la Metallogenie de L'Or, 1992. 340 p.