

УДК 553.291+553.411

DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-21-32

## СТРУКТУРНО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ В СЛОИСТЫХ ТОЛЩАХ (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮР В ЯКУТИИ)

© Ж.В. Семинский<sup>1</sup>, В.В. Корж<sup>2</sup><sup>1,2</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Месторождения, формирующиеся в осадочных толщах, характеризуются рядом специфических особенностей и прежде всего формой рудных тел, факторами рудоконтроля, распределением полезных компонентов и генетическими особенностями. В настоящей статье геологические условия рудолокализации и морфогенезис рудных тел рассматриваются на примере месторождения Юр (Якутия), изучавшегося авторами в период его эксплуатации. Детальное изучение строения рудных тел и минеральных ассоциаций проводилось в подземных горных выработках и по керну скважин. Изучались трещинная тектоника, физико-механические и фильтрационные свойства вмещающих горных пород, использовался тектонофизический анализ. Физико-механические (тектонические по А.В. Королеву и П.А. Шехтману) и фильтрационные свойства исследовались на основе полевых и лабораторных данных – более 10 различных параметров из 620 образцов проб из песчаников, вмещающих жилы № 6 и 7, из алевролитов, гравелитов, алевропесчаников, а также из кварца (полосчатого и массивного). Опробовался керн скважин, стенки и кровля подземных выработок.

Геологические особенности площади обусловили формирование пластовых согласных кварцевых жил в пределах гетерогенной по физико-механическим свойствам толщи терригенных пород (при переслаивании пластичных слабопроницаемых алевролитов и более хрупких пористых песчаников). Внутреннее строение золотоносных жил обусловлено тем, что крутопадающие зоны разломов, пересекавшие кварцевые жилы, не только усложнили структурно-литологическую обстановку, создав участки сосредоточенной проницаемости, но и играли роль рудоподводящих каналов. В пределах этих участков локализовались рудные столбы («ленты»), вмещающие основные запасы месторождения. Были выделены четыре системы рудоподводящих, рудоконтролирующих разрывных нарушений, установлено положение осей поля напряжения. Показательными являются полученные авторами значения удельной трещиноватости. Так, в жиле № 6 границы «рудной ленты» (наиболее дробленные участки) фиксируются значениями удельной трещиноватости в 50–60 трещин на погонный метр. В пределах самой «ленты» они составляют 25–50 трещин на метр, а за пределами – до 10–15 трещин на метр. На морфогенезис рудных тел и формирование рудных столбов лентообразной формы оказали влияние складчатые и разрывные дислокации, тектонические и инфильтрационные свойства вмещающих пород.

*Ключевые слова:* структура месторождения, литолого-структурные условия рудолокализации, тектонические свойства, фильтрационные свойства, пластовые жильные тела, Южное Верхоянье.

**Формат цитирования:** Семинский Ж.В., Корж В.В. Структурно-литологические условия локализации золотого оруденения в слоистых толщах (на примере месторождения Юр в Якутии) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 2 (55). С. 21–32. DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-21-32.

## STRUCTURAL AND LITHOLOGICAL CONDITIONS OF GOLD MINERALIZATION LOCALIZATION IN STRATIFIED BEDS (ON THE EXAMPLE OF YUR DEPOSIT IN YAKUTIA)

**Zh.V. Seminsky, V.V. Korzh**

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia

<sup>1</sup>Семинский Жан Вячеславович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, тел.: (3952) 405112, e-mail: seminsky@istu.edu

Seminsky Zhan, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor of the Department of Geology and Geochemistry of Minerals, tel.: (3952) 405112, e-mail: seminsky@istu.edu

<sup>2</sup>Корж Владимир Витальевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, тел.: (3952) 405112, e-mail: seminsky@istu.edu

Korzh Vladimir, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Associate Professor, tel.: (3952) 405112, e-mail: seminsky@istu.edu

The deposits formed in sedimentary strata are characterized by a number of specific features, first of all, by the shape of ore bodies, ore control factors, distribution of useful components and genetic traits. This paper considers the geological conditions of ore localization and morphogenesis of ore bodies on the example of the Yur deposit (Yakutia) that was studied in the period of its development. A detailed study of the structure of ore bodies and mineral associations was conducted in underground mine workings and by drill-hole cores. The research was given to the fracture tectonics, physico-mechanical and filtration properties of the host rocks, a tectonophysical analysis was used as well. Physico-mechanical (according to A.V. Korolev and P.A. Shekhtman – tectonic properties) and filtration properties were investigated on the basis of field and laboratory data that included more than 10 different parameters of 620 samples of sandstones enclosing veins no. 6 and 7, samples of siltstones, gritstones, silty sandstones and quartz (banded and massive). The drill-hole core, walls and roof of underground workings were also sampled.

The geological features of the area made conditions for the formation of conformable bedded quartz veins within the heterogeneous by physico-mechanical properties strata of terrigenous rocks (under interbedding of plastic low permeable siltstones and more brittle porous sandstones). The internal structure of gold veins is determined by the fact that steeply dipping fault zones crossing quartz veins complicated the structural and lithological environment having created the areas of concentrated permeability as well as played the role of ore conduits. Ore shoot zones (bands) containing the main reserves of the field were localized within these areas. Four systems of ore conduit, ore-controlling faults were distinguished. The position of the axes of the stress field was identified. The values of specific fracture obtained by the authors are meaningful. Thus, the boundaries of the “ore band” (the most cracked sections) in the vein no.6 have the values of specific fracture of 50-60 cracks per long meter. Within the “band” itself they make up 25-50 cracks per meter, whereas outside the “band” – up to 10-15 cracks per meter. The morphogenesis of ore bodies and the formation of ore shoots of the band shape had been influenced by fold and fault dislocations, tectonic and infiltration properties of the host rocks.

*Keywords: field structure, lithological and structural conditions of ore localization, tectonic properties, filtration properties, bedded vein-shaped body, Southern Verkhoyansk region*

**For citation:** Seminsky Zh.V., Korzh V.V. Structural and lithological conditions of gold mineralization localization in stratified beds (on the example of Yur deposit in Yakutia) // Proceedings of Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits. 2016. No. 2 (55). Pp. 21–32. DOI 10.21285/0301-108X-2016-55-2-21-32.

## Введение

Как известно, месторождения, формирующиеся в осадочных толщах, характеризуются рядом специфических особенностей и прежде всего формой рудных тел, факторами рудоконтроля, распределением полезных компонентов и, конечно, генезисом. Многие из них являются полигенными, образующимися в течение длительного промежутка времени – от осадконакопления до метаморфизма, а во многих случаях и с участием гидротермальной деятельности. Изучение физико-механических и других свойств рудовмещающих пород особенно активно проводилось во второй половине прошлого века, когда был получен обширный фактический материал и разработана методика исследований [1–5]. Примером подобных месторождений, часто относимых к стратиформным, является группа золоторудных объектов Южного Верхоянья, входящих в состав Дуэт-Бриндакитского рудного узла в пределах Аллах-Юньской металлогени-

ческой зоны. Наиболее показательным по своим геологическим особенностям является Юрское месторождение, которое изучали И.П. Мусин, М.К. Силичев, В.А. Слезко, В.И. Лобач, авторы и другие исследователи. Нами работы проводились в подземных горных выработках и на поверхности. При этом основное внимание было уделено структуре месторождения, минералого-геохимическим особенностям, свойствам вмещающих пород, что позволило определить основные особенности локализации оруденения и разработать геологические модели рудных объектов [6, 7].

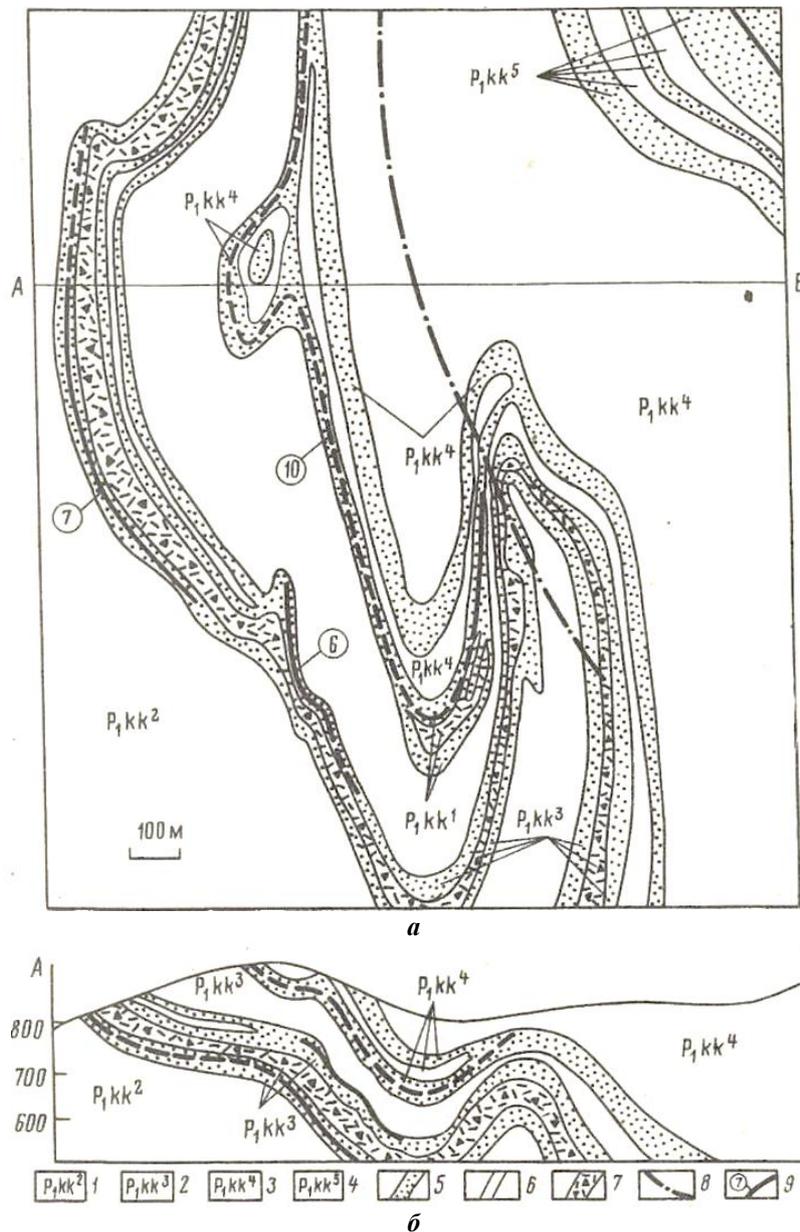
Вмещающими рудные тела Юрского и других месторождений Дуэт-Бриндакитского рудного узла являются вулканогенно-осадочные породы верхнего карбона и нижней перми. Для Юрского месторождения это ритмично-чередующиеся пласты нижнепермской кукканской свиты, залегающие с общим пологим падением на восток (рис. 1). В ее составе выделены шесть ритмопачек,

и наиболее рудоносными являются первая и третья ритмопачки. В первой ритмопачке кварцевые жилы, расположенные поэтажно, тяготеют к кровле толщи, третья ритмопачка наиболее рудоносна в низах разреза. Оруденение концентрируется преимущественно в средне- и мелкозернистых разностях пород: песчаниках, алевролитах, алевропесчаниках. Обломочные разности

характеризуются плохой сортировкой обломков размером 3–100 мм.

### Структурные особенности месторождения

Региональным тектоническим элементом района является крупный Южно-Верхоянский синклиорий близ-меридиональной ориентировки. Синклиорий характеризуется неравномерной дислоцированностью пород, выражен-



**Рис. 1. Геологическая карта (а) и разрез (б) Юрского месторождения  
По материалам В.А. Слезко:**

- 1–4 — кукканская свита (1 — вторая пачка: алевролиты, песчаники, конгломераты; 2 — третья пачка: алевролиты, песчаники, гравелиты; 3 — четвертая пачка: алевролиты, песчаники с линзами туфодиамиктитов; 4 — пятая пачка: алевролиты, песчаники с линзами конгломератов);  
5–7 — горизонты: 5 — песчаников, 6 — алевролитов, 7 — туфодиамиктитов;  
8 — разрывные нарушения; 9 — кварцевые жилы и их номера

ной в том, что продольные зоны интенсивной складчатости чередуются с зонами относительно пологих складчатых форм или слабоволнистого практически ненарушенного залегания пород. Таким образом, структура синклинория представляет собой чередование антиклинальных и синклинальных сооружений, нарушенных складчатостью более высоких порядков. Крупные линейные складки имеют размах крыльев 0,5–1,5 км, протяженность 25–40 км. Они осложнены мелкой складчатостью. Кроме продольных структурных элементов выделяются поперечные антиклинальные и синклинальные складчатые структуры; среди них наиболее характерны мульдообразные погружения, разделяющие синклинорий по простиранию.

Широко распространены разрывные нарушения. Наиболее крупными являются разломы субмеридиональной ориентировки, разделяющие отдельные складчатые зоны синклинория. Разрывные нарушения этой системы имеют, вероятно, глубинное заложение и длительное развитие. По их взаимоотношению с осадочными и магматическими породами на территории Южного Верхоянья видно, что эти нарушения были зонами проницаемости в рифейское, палеозойское и мезозойское время. Распространены разломы диагональных систем северо-западной и северо-восточной ориентировки, которые нарушают осадочную толщу и не затрагивают кристаллический фундамент.

Структура месторождения определяется, во-первых, его положением в приядерной части западного крыла синклинория, во-вторых, узлом пересечения разломов меридиональной (продольной) системы с диагональными разломами северо-западного простирания. Рудные тела месторождения – это послойные кварцевые жилы, локализующиеся в пределах четырех этажно расположенных горизонтов. Залегание и мощность рудоносных кварцевых жил зависят в основном от морфологии вмещающего пласта и положения жил в его пределах.

Мощность жил возрастает до 5 и более метров в замковых частях складок, что может быть связано с гидродинамическими особенностями движения рудоносных растворов во вмещающих породах.

Наиболее значимыми на месторождении являются жилы № 6 и 7, относящиеся к малосульфидной формации. Жила № 6 локализуется в нижней части третьей пачки в зоне контакта песчаников и алевролитов (см. рис. 1). Жила протягивается в субмеридиональном направлении на 4 км при ширине 20–110 м и имеет мощность от 0,1 до 4 м. Падение жилы восточное под углами от 20 до 80° с погружением на север под углами 5–7°. Жила № 7 залегает ниже предыдущей в основании пласта песчаников, прослежена на 1,5 км, ее ширина – около 440 м, а мощность изменяется от 0,1 до 2,3 м; имеет более сложную морфологию.

Распределение золота в жилах определяется концентрацией 90% запасов в пределах обогащенных участков небольшой мощности шириной 10–150 м, вытянутых по простиранию на значительные расстояния и получивших название «рудные ленты». В центральных частях этих лент, в участках их изгибов концентрация золота является максимальной и постепенно уменьшается к флангам. Более 50% приходится на крупное самородное золото размером более 1 мм. Кроме того, повышенные содержания металла отмечаются в участках резких перегибов жил и в местах изменения мощности последних.

Для выявления рудоконтролирующей роли разрывных нарушений проведено изучение трещинной тектоники в подземных горных выработках [8]. На отдельных точках наблюдений проводился массовый замер трещин, сопровождавшийся их описанием в специальном журнале. Детально документировались плоскости встреченных в горных выработках разломов. В результате обработки полученных данных были выделены четыре системы трещин,

показанные на обобщенной диаграмме (рис. 2). Нарушения системы 1 пользуются наибольшим распространением. Эти нарушения относятся к системе господствующих разломов субмеридионального простирания, упомянутых выше. В составе системы – крупные протяженные разломы, относительно мелкие нарушения и трещины, падающие на восток под углами  $75-85^\circ$ . Разломы этой системы выражены зонами расланцевания и дробления. Наиболее крупные из них при пересечении с кварцевыми жилами ограничивают распространение промышленного оруденения в последних. Значительно меньше распространены нарушения систем 2, 3, 4. Это лево- и правосторонние сдвиги северо-западного и северо-восточного простирания. Вдоль них наблюдаются перемещения и дробление рудных тел, что говорит о пострудном характере их проявления. Плоскости этих нарушений отчетливо

фиксируются по зонам милонитизации, глинками трения, на их поверхностях нередко наблюдаются штрихи скольжения.

Анализ структурных диаграмм трещиноватости и штрихов скольжения, замеренных на плоскостях нарушений различных систем, позволил восстановить характер полей напряжения. Так, при формировании нарушений системы 1 имело место широтное субгоризонтальное сжатие ( $\sigma_3$ ), субвертикальное растяжение ( $\sigma_1$ ), средняя ось деформации ориентирована субгоризонтально в меридиональном направлении (см. рис. 2). Для системы 2 (рис. 3) характерно субгоризонтальное сжатие ( $\sigma_3$ ), северо-восточное растяжение ( $\sigma_1$ ), ориентировка средней оси субвертикальная ( $\sigma_2$ ). При этом положение средней оси деформации мигрировало только в меридиональном направлении (от вертикального для «чистых» сдвигов до горизонтального для «чистых» взбросов или сбросов).

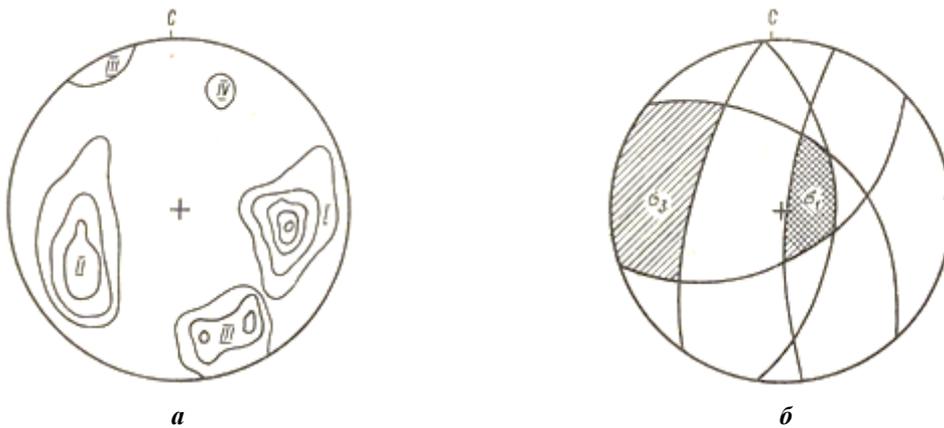


Рис. 2. Обобщенная диаграмма трещиноватости для пород рудного поля (а) – 320 замеров, изолинии 1-2-3-4-5%, динамические условия формирования разрывных нарушений системы 1 (б)  $\sigma_3$  – главное сжимающее усилие,  $\sigma_1$  – главное растягивающее усилие

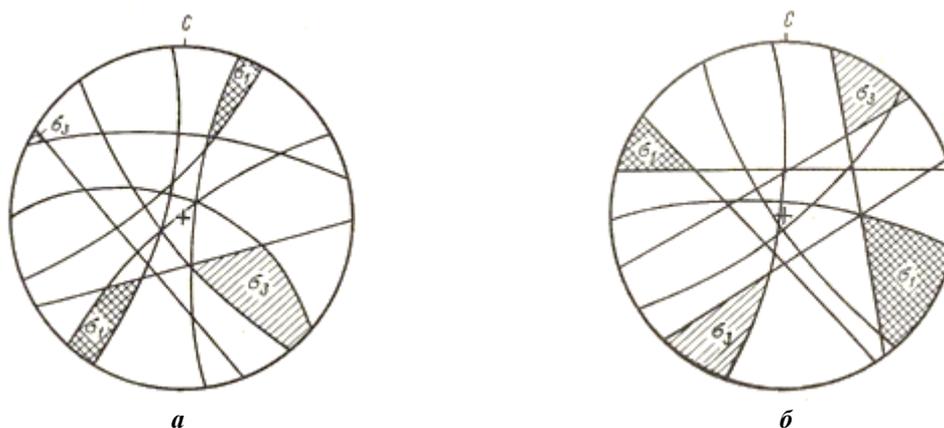


Рис. 3. Динамические условия формирования разрывных нарушений системы 2

Субширотное горизонтальное сжатие и растяжение, также развитые в рудном поле, имели вертикальное направление, что способствовало развитию межпластовых срывов. Они формировались в области контакта резко анизотропных по своим физико-механическим свойствам песчаников и алевролитов. Широко развит кливаж вмещающей толщи, который ориентирован субмеридионально, то есть согласно с системой разломов, и сформировался в результате субгоризонтального сжатия в субширотном направлении. В основном меридиональную ориентировку имеют и оси линейных складок, распространенных на данном участке.

Скорее всего, движения по разломам приводили к кливажированию толщи, а в отдельных, более сжатых блоках – и к образованию узких линейных складок. При анализе кливажных систем в массивном кварце жилы № 7 было установлено несоответствие их с ориентировкой главного кливажа. Кливаж в кварце имеет северо-восточное простирание. Отсутствие в жиле главного (субмеридионального) кливажа указывает на формирование массивного кварца в постскладчатый этап деформаций. Образование северо-восточного кливажа связано, очевидно, с северо-западным сжатием, которое было наложено на уже сформировавшееся рудное тело и отвечает этапу образования нарушений системы 2. Следует отметить, что интенсивность проявления северо-западного сжатия значительно меньше, чем субширотного, вследствие чего кливаж северо-восточного простирания распространён фрагментарно. Наиболее поздними являются субширотные системы разрывных нарушений, максимумы которых часто фиксируются на круговых диаграммах. Они секут как вмещающую толщу, так и кварц рудных жил. Образование их может быть связано с сжатием в меридиональном направлении.

Таким образом, изучение роли разрывных нарушений в строении рудных

тел и распределении рудной минерализации показало, что не только складчатые структуры являются главным фактором рудоконтроля. Весьма существенное влияние в этом плане оказывают разрывы системы 1. Вблизи некоторых субмеридиональных разломов мощность жил и содержание металла увеличиваются, что позволяет рассматривать эти зоны разломов как рудоподводящие, так и рудораспределяющие. Вдоль нарушений систем 2 и 3 наблюдаются дробление, перемещение рудных тел, что позволяет отнести многие из них к пострудным.

### **Минеральные парагенезисы**

Согласные жилы месторождения сложены кварцем, содержащим рудную минерализацию в количестве от 0,2 до 1%. Руды относятся к кварц-золото-малосульфидному типу. Минеральный состав рудных тел можно кратко рассмотреть на примере жил № 6 и 7.

Жильный кварц присутствует в нескольких генерациях. Кварц 1 имеет полосчатую текстуру и приурочен чаще к зальбандам жил, к участкам, где в жилах присутствуют в значительных количествах ассимилированные слои вмещающих пород и жилы имеют наименьшую мощность. Кварц этой ранней генерации образовался в процессе метасоматического замещения. Основную массу жил составляет кварц 2, особенно на участках максимальной мощности рудных тел. В шлифах наблюдается в виде крупнозернистых агрегатов, содержит большое количество газово-жидких включений. Формировался, очевидно, в процессе выполнения трещин. Кварц более поздних генераций встречается совместно с карбонатами и некоторыми минералами пострудных ассоциаций.

Основные минералы гипогенной группы: арсенопирит, галенит, сфалерит, пирит, золото; к гипергенным относятся скародит, церуссит, гетит, гематит, лимонит. Среди жильных минералов кроме кварца распространены кальцит и доломит.

Арсенопирит, пирит и золото 1 ранней стадии связаны с кварцем 1. Арсенопирит образует длиннопризматические или короткостолбчатые агрегаты. Этот арсенопирит обычно содержит тонкое золото, определенное пробирным анализом, а в раздробленных агрегатах имеется видимое золото. Пирит ранней стадии представлен мелкими кристаллами, встречающимися совместно с арсенопиритом. В ассоциации с кварцем 2 встречаются арсенопирит, галенит, сфалерит и золото. Гипергенные минералы, ассоциирующие с этим комплексом, – скародит, гётит, англезит, церуссит и лимонит. Арсенопирит 2, наиболее ранний в этой стадии, образует желваки круглой формы до 15 см в поперечном сечении. Ко второй продуктивной стадии принадлежат также галенит и сфалерит. Галенит также образует округлые выделения, что может свидетельствовать о значительной роли рудоносных коллоидных растворов.

Золото образует три генерации. Золото 1 в ассоциации с ранним арсенопиритом широко распространено в околожильном пространстве. Золото 2 ассоциирует с арсенопиритом второй генерации. Образует мелкие пластинчато-проволочные и округло-капельвидные выделения, которые приурочены к раздробленным зернам арсенопирита или к трещинам спайности в этом минерале. Золото третьей генерации составляет основные промышленные запасы. Образуется в пределах кварцевых жил после отложения сульфидов; выделения его довольно крупные (до 3–4 мм). Золото 3 образует сростания с галенитом, арсенопиритом, сфалеритом и встречается в свободном виде в кварце. Имеет пластинчатые, каркасные, комковидные формы, реже дендриты, которые могут формироваться при резком охлаждении растворов. Установлено гипергенное обогащение золота в приповерхностных участках, где вокруг него образуется «лимонитовая рубашка», а содержание может увеличиваться в десятки раз.

Изучение минеральных ассоциаций и взаимоотношений отдельных минералов позволило наметить стадийность формирования руд Юрского месторождения (табл. 1). Выделяются эндогенные (рудный, пострудный) и гипергенный этапы. Первый из них разделяется на две стадии. Кварц-арсенопирит-золоторудная стадия включает формирование золота и двух сульфидов; по результатам термобарохимических исследований вкрапленные рудные минералы этой продуктивной стадии образовались при температуре 320–370°. Вторая – основная рудная стадия – привела к формированию кварц-галенит-арсенопирит-пирит-золоторудной ассоциации. Это вкрапленно-прожилковые руды, имеющие температуру образования 250–280°. Пострудный этап включает две стадии, формировавшиеся соответственно при температурах 150–180 и 130–150°. Отлагались некоторые сульфиды (пирит, приротин), кварц, кальцит и доломит. В гипергенный этап при температурах ниже 100° выделялись в виде прожилковых и вкрапленных агрегатов гетит, лимонит, скародит и некоторые другие минералы.

Наблюдается определенная закономерность в распределении минеральных ассоциаций в пределах рудных жил. Минералы ранней ассоциации преобладают в зальбандах жил и в околожильном пространстве; возможно отнести минералы этой ассоциации к метаморфогенно-метасоматическому процессу рудообразования. Вторая продуктивная ассоциация составляет основной материал рудных тел. Распределение химических элементов в первичных ореолах позволило наметить участок повышенных концентраций титана, кобальта, никеля, меди, ванадия и хрома, приуроченных к разлому, служившему вероятно подводным каналом в период рудоотложения [8].

#### **Тектонические и фильтрационные свойства вмещающих пород**

Ритмично чередующиеся терригенные породы рудовмещающей куккан-

Таблица 1

## Стадийность формирования минеральных ассоциаций (на примере жилы № 7)

Минерал	Реликто- вые	Этапы, стадии				
		Рудный		Пострудный		Гипергенный
		Кварц-арсенопирит- золоторудная	Кварц-галенит- сфалерит-арсенопирит- золоторудная	Кварц-карбонат- пирит-пирротиновая	Кварц- карбонатная	
Хлорит	_____			_____		
Антроксолит	_____					
Серицит	_____					
Сфен	_____					
Рутил	_____					
Эпидот	_____					
Циркон	_____					
Арсенопирит		_____	_____			
Пирит		_____		_____	_____	
Галенит			_____			
Сфалерит			_____			
Халькопирит			_____			
Буланжерит			_____			
Пирротин	_____			_____		
Золото		_____	_____			
Кальцит					_____	
Доломит	_____					
Скородит						_____
Гетит						_____
Лимонит						_____
Англезит						_____
Церуссит			_____			_____
Кварц		_____		_____	_____	
Температуры		320-370	A250-280	150-180	130-150	100
Текстуры руд		Вкрапленная	Прожилково- вкрапленная	Вкрапленная		Прожилковая

ской свиты в каждой ритмопачке содержат следующие разновидности: конгломераты, гравелиты, диамиктиты, туфодиамиктиты, песчаники, алевропесчаники, алевролиты. Среди этих разновидностей грубообломочные породы характеризуются чрезвычайно плохой сортировкой, обломки представлены преимущественно песчаниками и алевролитами, реже встречаются обломки жильного кварца и оруденелых вмещающих пород. Необходимо отметить, что часть обломков алевролитов несет арсенопиритовую и пиритовую минерализацию; это позволяет сделать вывод о длительном процессе рудообразования, начавшемся, вероятно, в самом начале нижней перми или в карбоне и вновь проявившемся

после формирования кукканской свиты. Не исключено, что сульфиды, присутствующие в обломочной фракции пермских толщ, были образованы в результате процессов метаморфизма.

Золотое оруденение Юрского месторождения концентрируется в средне- и мелкозернистых разностях пород, которые и рассматриваются ниже. Чтобы установить, влияют ли различные свойства вмещающих горных пород на морфогенезис рудных тел и как они определяют закономерности рудолокализации, было проведено специальное изучение физико-механических (тектонических по А.В. Королеву и П.А. Шехтману) и фильтрационных свойств – более 10 различных параметров из 620 образцов проб

из песчаников, вмещающих жилы № 6 и 7, из алевролитов, гравелитов, алевропесчаников, а также из кварца (полосчатого и массивного). Опробовались керн скважин, стенки и кровля подземных выработок. Полученные данные сведены в таб. 2, где отражены значения модулей Юнга, сдвига, плотность, коэффициент Пуассона, проницаемость, эффективная пористость, свободное водонасыщение.

Сопоставление результатов приведенных анализов показало, что есть отличие свойств песчаников, вмещающих две описанные жилы. Песчаники, вмещающие жилу № 7, характеризуются несколько меньшей плотностью, более низкими значениями модуля Юнга, но высокими пористостью и проницаемостью. В то же время по составу песчаники не отличаются: они являются существенно кварцевыми (около 90% кварца). Очевидно, что различия их свойств обусловлены текстурными особенностями этих двух разновидностей пород и, возможно, степенью метаморфизма, учитывая их различное положение в разрезе. От других пород разреза песчаники отличаются меньшей упругостью и высокой проницаемостью. Эти свойства определили повышенную хрупкость песчаников и достаточно высокую проницаемость для рудоносных растворов.

Алевролиты имеют сланцеватое строение и отличаются анизотропией тектонических и фильтрационных свойств. Обладая высокими значениями модуля Юнга и коэффициента Пуассона, алевролиты являются более прочными и пластичными породами. Весьма низкие их фильтрационные параметры определяют их экранирующую роль. Гравелиты имеют грубообломочный облик, что влияет на их достаточно высокую проницаемость. Физико-механические и фильтрационные свойства алевропесчаников носят промежуточный характер между свойствами песчаников и алевролитов и колеблются в зависимости от преобладания той или иной фракции.

Таким образом, в общем случае песчаники являются благоприятной в отношении фильтрационных свойств средой, что приводит к проникновению в их толщу рудоносных растворов, движению их и рудоотложению. Алевролиты, залегающие выше и ниже горизонтов песчаников, как это наблюдается на многих месторождениях с пластовыми и другими формами рудных тел, выступают в роли экранов, определяющих консервацию растворов в виде рудных тел.

Анализируя роль физико-механических свойств рудовмещающих толщ, необходимо учитывать всю совокупность структурных и литологических факторов и прежде всего разрывную тектонику. В то же время в зонах разломов в этих породах образуются системы микротрещин, ориентированных перпендикулярно слоистости и часто заполненных прожилками кварцевого и кварц-карбонатного состава. В этих условиях пористость их увеличивается до 10% и, соответственно, возрастает проницаемость (см. табл. 1). А.В. Королев и П.А. Шехтман показали, что в условия проявления интенсивной разрывной тектоники главным фактором фильтрационной способности является не пористость, а мелкая трещиноватость [8], что и наблюдается на Юрском месторождении. В пределах и вблизи зон крутопадающих разломов, пересекающих пластовые жилы, резко увеличивается проницаемость. Кроме того, в этих участках жил отлагаются гидроокислы железа и магнетитно-железистые карбонаты, происходит разуплотнение породы и частичная дезинтеграция, а следовательно, увеличение ее пористости.

Необходимо отметить и еще одну особенность строения толщи, вмещающей жилу № 7. В подошве и кровле среди песчаников наблюдаются тонкие пропластки алевролитов мощностью до 0,5 м, что еще увеличивает гетерогенность вмещающей среды.

Таблица 2

## Физико-механические свойства горных пород

Породы	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	$E \cdot 10^4$ МПа	$\mu \cdot 10^4$ МПа	$\sigma$
Песчаник, вмещающий жилу № 6	207 $\frac{2,6 - 2,67^*}{2,64}$	207 $\frac{3,87 - 4,97}{4,46}$	207 $\frac{1,49 - 2,08}{1,9}$	207 $\frac{0,08 - 0,22}{0,12}$
Песчаник, вмещающий жилу № 7	73 $\frac{2,61 - 2,72}{2,68}$	48 $\frac{4,05 - 6,16}{5,43}$	48 $\frac{1,61 - 2,32}{2,19}$	48 $\frac{0,21 - 0,34}{0,26}$
Алевролит	138 $\frac{2,6 - 2,8}{2,72}$	138 $\frac{7,77 - 17,53}{10,13}$	138 $\frac{2,68 - 3,6}{4,33}$	138 $\frac{0,3 - 0,34}{0,32}$
Туфодиамиктит	18 $\frac{2,74 - 2,21}{2,79}$	8 $\frac{5,99 - 13,06}{9,14}$	8 $\frac{2,23 - 3,6}{3,21}$	8 $\frac{0,3 - 0,34}{0,32}$
Лимонитизированный песчаник	72 $\frac{2,52 - 2,62}{2,57}$	72 $\frac{3,53 - 5,63}{4,57}$	72 $\frac{1,64 - 2,24}{1,95}$	72 $\frac{0,18 - 0,23}{0,2}$
Лимонитизированный алевролит	36 $\frac{2,63 - 2,65}{2,64}$	36 $\frac{7,2 - 10,48}{3,84}$	36 $\frac{3,15 - 4,83}{3,99}$	36 $\frac{0,14 - 0,17}{0,15}$
Алевропесчаник	18 $\frac{2,64 - 2,68}{2,66}$	8 $\frac{3,4 - 1,6}{4,03}$	8 $\frac{1,1 - 1,6}{1,37}$	8 $\frac{0,26 - 0,27}{0,26}$
Гравелит	18 $\frac{2,56 - 2,89}{2,71}$	8 $\frac{3,02 - 5,93}{2,37}$	8 $\frac{1,09 - 2,28}{1,65}$	8 $\frac{0,3 - 0,33}{0,31}$
Кварц полосчатый	20 $\frac{2,57 - 2,64}{2,6}$	10 $\frac{6,34 - 14,79}{7,61}$	10 $\frac{2,24 - 3,71}{3,5}$	10 $\frac{0,04 - 0,14}{0,12}$
Кварц массивный	20 $\frac{2,53 - 2,6}{2,56}$	10 $\frac{4,16 - 10,5}{7,61}$	10 $\frac{1,65 - 4,81}{2,75}$	10 $\frac{0,08 - 0,12}{0,12}$
Породы	$P_{эфф.}$ , %	$K \cdot 10^{-9}$ , м <sup>2</sup>	$K_{изв.}$	$W$ , %
Песчаник, вмещающий жилу № 6	118 $\frac{0,57 - 6,55}{4,26}$	13 $\frac{0,0004 - 0,052}{0,0016}$	62 $\frac{9,2 - 18,7}{12,1}$	21 $\frac{0,22 - 3,42}{1,36}$
Песчаник, вмещающий жилу № 7	48 $\frac{0,42 - 3,96}{2,54}$	18 $\frac{0,0001 - 0,049}{0,00021}$	48 $\frac{16,4 - 21,6}{19,2}$	19 $\frac{0,16 - 2,19}{1,18}$
Алевролит	41 $\frac{0,13 - 0,41}{0,21}$	10 $\frac{0,000002 - 0,000027}{0,00002}$	70 $\frac{23,1 - 30,2}{26,6}$	26 $\frac{0,05 - 0,16}{0,1}$
Туфодиамиктит	8 $\frac{0,39 - 1,6}{0,59}$	7 $\frac{0,000001 - 0,00003}{0,000021}$	39 $\frac{24,0 - 29,2}{26,3}$	14 $\frac{0,13 - 0,58}{0,21}$
Лимонитизированный песчаник	24 $\frac{1,06 - 6,07}{2,9}$	6 $\frac{0,001 - 0,096}{0,024}$	26 $\frac{6,9 - 19,2}{12,3}$	16 $\frac{1,66 - 4,15}{1,02}$
Лимонитизированный алевролит	7 $\frac{2,97 - 4,58}{3,15}$	5 $\frac{0,00001 - 0,00017}{0,00008}$	31 $\frac{16,8 - 19,7}{18,1}$	12 $\frac{1,14 - 3,06}{1,20}$
Алевропесчаник	8 $\frac{1,93 - 2,69}{2,29}$	4 $\frac{0,00006 - 0,00031}{0,0001}$	34 $\frac{13,1 - 17,2}{15,2}$	11 $\frac{0,72 - 1,18}{0,81}$
Гравелит	8 $\frac{1,2 - 6,21}{3,92}$	5 $\frac{0,001 - 0,0045}{0,0021}$	15 $\frac{14,8 - 20,3}{17,6}$	10 $\frac{0,46 - 2,61}{1,72}$
Кварц полосчатый	10 $\frac{0,32 - 1,83}{1,25}$	5 $\frac{0,018 - 0,128}{0,082}$	20 $\frac{6,5 - 12,1}{8,2}$	20 $\frac{0,22 - 1,68}{1,02}$
Кварц массивный	10 $\frac{0,85 - 5,54}{4,1}$	4 $\frac{0,102 - 2,28}{1,12}$	20 $\frac{2,4 - 5,2}{4,1}$	20 $\frac{0,91 - 2,48}{2,11}$

Примечание:

$a \frac{b-g}{d}$  (а – количество образцов; б – минимальное значение; в – максимальное значение; г – среднее значение);  $\gamma$  – плотность, г/см<sup>3</sup>;  $E$  – модуль Юнга, ( $10^4$  Мпа);  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\sigma$  – модуль сдвига ( $10^4$  Мпа);  $P_{эфф.}$  – эффективная пористость, %;  $K$  – проницаемость (мддарси);  $W$  – свободное водонасыщение в течение 45 суток, % (цифры соответствуют значению водонасыщения на 45-е сутки).

Для локализации жилы № 7 решающую роль сыграла ее локализация в пределах межпластовой зоны дробления на контакте песчаников внизу и алевролитов висячем боку жилы.

Таким образом, структурно-литологические условия формирования рудных тел Юрского месторождения золота определяются «классической» геологической обстановкой. Эта обстановка обусловила формирование пластовых согласных кварцевых жил в пределах гетерогенной по физико-механическим свойствам толщи терригенных пород (при переслаивании пластичных слабопроницаемых алевролитов и более хрупких пористых песчаников). Внутреннее строение золотоносных жил обусловлено тем, что крутопадающие зоны разломов, пересекавшие кварцевые жилы, не только усложнили структурно-литологическую обстановку, создав участки сосредоточенной проницаемости, но и играли роль рудоподводящих каналов. Как было отмечено, в пределах этих участков локализовались рудные столбы («ленты»), вмещающие основные запасы месторождения. По мере удаления от «рудных лент» в жилах уменьшаются запасы золота, происходит выклинивание самих кварцевых жил. Показательными являются полученные авторами значения удельной трещиноватости. Так, в жиле № 6 границы «рудной ленты» (наиболее дробленные участки) фиксируются значениями удельной трещиноватости в 50–60 тр./м. В пределах самой «ленты» они составляют 25–50 тр./м, а за пределами – до 10–15 тр./м. Более сложным является распределение обогащенных участков в жиле № 7: здесь выделяется несколько «рудных лент», что обусловлено наличием целой серии рудоконтролирующих и рудоподводящих разрывных нарушений близмеридионального простирания. О рудоподводя-

щей роли крутопадающих разломов системы 1 свидетельствует характер распределения первичных ореолов рассеяния металлогенных элементов, что отмечено выше.

### Выводы

Определяющим структуру рудного поля и процесс рудоотложения явилось сочетание ряда характерных особенностей геологической среды, включающих:

1) складчатые структуры, а именно приуроченность рудных тел к зонам дислокаций в приадрной части крупного антиклинория, осложненного мелкой складчатостью;

2) разрывные нарушения четырех систем, при этом ведущую роль играли разрывы близмеридионального простирания нескольких порядков; зоны этих разломов предопределили формирование «рудных лент», прослеживающиеся в меридиональном направлении; при этом обогащенные участки в пределах кварцевых жил контролируются изгибами пластообразных рудных тел и внутрирудными разрывными нарушениями;

3) гетерогенный разрез вмещающей толщи, определяющийся сочетанием различных по физико-механическим свойствам горизонтов, благоприятных для развития разрывных нарушений и движения рудоносных растворов, что определялось чередующимися пластами проницаемых песчаников и алевролитов, служивших экраном в период отложения основной массы золоторудной и сульфидной минерализации;

4) изменение характера поля напряжения и развитие разрывных нарушений различных систем в разные периоды гидротермальной деятельности, что предопределило этапность и стадийность формирования дорудных, внутрирудных и пострудных минеральных ассоциаций.

### Библиографический список

1. Вольфсон Ф.И., Лукин Л.И., Сафонов Ю.Г. [и др.]. Геологоструктурные

методы изучения эндогенных рудных месторождений. М.: Наука, 1982. 263 с.

2. Кушнарев И.П., Кушнарев П.И., Мельникова К.М. Методы структурной геологии и геологического картирования. М.: Недра, 1984. 374 с.

3. Невский В.А. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений. М.: Недра, 1979. 224 с.

4. Семинский К.Ж. Принципы и этапы спецкартирования разломно-блоковой структуры на основе изучения трещиноватости // Геология и геофизика. 1994. № 9. С. 112–130.

5. Старостин В.И., Дергачев А.Л., Семинский Ж.В. Структуры рудных

полей и месторождений. М.: Изд-во МГУ, 2002. 352 с.

6. Семинский Ж.В., Филонюк В.А., Корж В.В. [и др.]. Модели рудных районов и месторождений Сибири. М.: Недра, 1994. 252 с.

7. Семинский Ж.В., Филонюк В.А., Черных А.Л. Структуры рудных месторождений Сибири. М.: Недра, 1987. 182 с.

8. Королев А.В., Шехтман П.А. Структурные условия размещения постмагматических руд. М.: Недра, 1965. 508 с.

### References

1. Vol'fson F.I., Lukin L.I., Safonov Yu.G. *Geologostrukturnye metody izucheniya endogennykh rudnykh mestorozhdenii* [Geological structural methods for studying endogenous ore deposits]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 263 p.

2. Kushnarev I.P., Kushnarev P.I., Mel'nikova K.M. *Metody strukturnoi geologii i geologicheskogo kartirovaniya* [Methods of structural geology and geological mapping]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 374 p.

3. Nevskii V.A. *Treshchinnaya tektonika rudnykh polei i mestorozhdenii* [Fracture tectonics of ore fields and deposits]. Moscow, Nedra Publ., 1979. 224 p.

4. Seminskii K.Zh. Printsipy i etapy spetskartirovaniya razlomno-blokovoi struktury na osnove izucheniya treshchinovatosi [Principles and stages of fault-block structure special mapping based on the fracturing study]. *Geologiya i geofizika* =

*Geology and Geophysics*, 1994, no. 9, pp. 112–130.

5. Starostin V.I., Dergachev A.L., Seminskii Zh.V. *Struktury rudnykh polei i mestorozhdenii* [Structures of ore fields and deposits]. Moscow, MGU Publ., 2002. 352 p.

6. Seminskii Zh.V., Filonyuk V.A., Korzh V.V. *Modeli rudnykh raionov i mestorozhdenii Sibiri* [Models of ore districts and deposits in Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1994. 252 p.

7. Seminskii Zh.V., Filonyuk V.A., Chernykh A.L. *Struktury rudnykh mestorozhdenii Sibiri* [Structures of ore deposits in Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 182 p.

8. Korolev A.V., Shekhtman P.A. *Strukturnye usloviya razmeshcheniya postmagmaticheskikh rud* [Structural conditions of post-magmatic ore location]. Moscow, Nedra Publ., 1965. 508 p.

*Статья поступила 10.04.2016 г.*

*Article received 10.04.2016.*