

УДК 548.4 : 553.061.17

И. С. Неменман, С. Г. Парада, Н. В. Бердников

## ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЯ ЗОНАЛЬНОГО МЕТАМОРФИЗМА И ЖИЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ПРАВОБУРЕЙНСКОГО СЛАНЦЕВОГО КУПОЛА

Методами термо- и криометрии флюидных включений изучены метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации породы Правобуреинского сланцевого купола и залегающие среди них кварцевые жилы, а также расположенные в ядре купола мезозойские граниты. Зональный метаморфизм вмещающих пород проходил при участии существенно водного слабо минерализованного флюида. Его температуры возрастают от периферии к ядру купола: 230°C в метапесчаниках, 295°C в полосчатых сланцах и 380°C в порфиروбластических сланцах. В кварце согласных безрудных и секущих сланцеватость рудоносных жил установле-

ны первичные существенно водные ( $T_{\text{гом}} = 160-220^\circ\text{C}$ ), вторичные водные, водно-углекислотные ( $T_{\text{гом}} = 200-235^\circ\text{C}$ ) и кристаллофлюидные включения, что указывает на широкое проявление в них автометасоматических процессов. В прожилке горного хрусталя из экзоконтакта гранитного массива преобладают первичные водные включения ( $T_{\text{гом}} = 260-360^\circ\text{C}$ ). Установлено, что жильное оруденение в пределах купола связано с регрессивным этапом зонального метаморфизма с последующим преобразованием жил в процессе становления гранитного массива.

Изучение пород зеленосланцевой фации и развитых в них кварцевых жил методами термобарогеохимии представляет многоплановый интерес. В первую очередь следует отметить практическую значимость проблемы, поскольку такие комплексы нередко несут оруденение метаморфогенно-гидротермального типа [2]. Кроме того, изучение флюидных включений позволяет судить о направленности эволюции флюидного режима в процессе метаморфизма и рудообразования, что применительно к породам зеленосланцевой фации практически не исследовано.

Для выяснения места кварцевых жил в геологической истории района и определения термобарогеохимических критериев их связи с магматизмом и (или) метаморфизмом предполагалось: 1) изучить состав флюида, при участии которого формировались и преобразовывались исследуемые породы и жилы; 2) рассчитать  $P-T$ -параметры их формирования и преобразования; 3) выяснить эволюцию эндогенного флюида в двух возможных вариантах: метаморфизм — кварцевые жилы, гранитоидный магматизм — кварцевые жилы.

Для решения поставленных задач был исследован каменный материал, характеризующий главные структурно-текстурные различия метapelитов зонально-метаморфизованной толщи купола, залегающие среди них безрудные и рудоносные кварцевые жилы, предшествующие рудоносным жилам кварц-альбитовые метасоматиты, прорывающие метаморфический комплекс позднемезозойские гранитоиды, а также

пространственно ассоциирующие с последними хрусталеносные прожилки.

Правобуреинский сланцевый купол (рис. 1) находится в верхнем течении р. Правая Бурей. Он представляет собой брахиантиклиналь, вытянутую в северо-западном направлении. Это самый крупный среди аналогичных куполов — характерных тектонических элементов Селемджино-Кербинской структурно-формационной зоны, постоянно сопровождающихся кварцевыми жилами с типоморфной минерализацией [17].

Слагающий купол и его периферию комплекс геосинклинальных отложений, вскрытая мощность которого достигает 12 км, имеет преимущественно терригенный состав. В нижней половине разреза отмечаются пласты и прослой метабазитов, кварцитов и линзы мраморизованных известняков. Последовательность наслоения пород и мощность отложений геосинклинального комплекса определены по разрезам в пределах периклинальных замыканий купола, где опрокинутые разрезы и крупные изоклинальные складки неизвестны.

Непосредственно геологический возраст пород геосинклинального комплекса не установлен. В разрезе аналогичного комплекса отложений в верховье р. Селемджи обнаружены остатки палеозойской фауны и флоры [12, В. Ф. Зубков, 1973 г.]. Фауна, датирующаяся поздним палеозоем — ранним мезозоем, описана в сходных с изученным районом сланцевых толщах бассейна р. Сулук [13]. Определение (К-Аг-метод) возраста мусковитов из альбитпорфиробластических сланцев нижней части

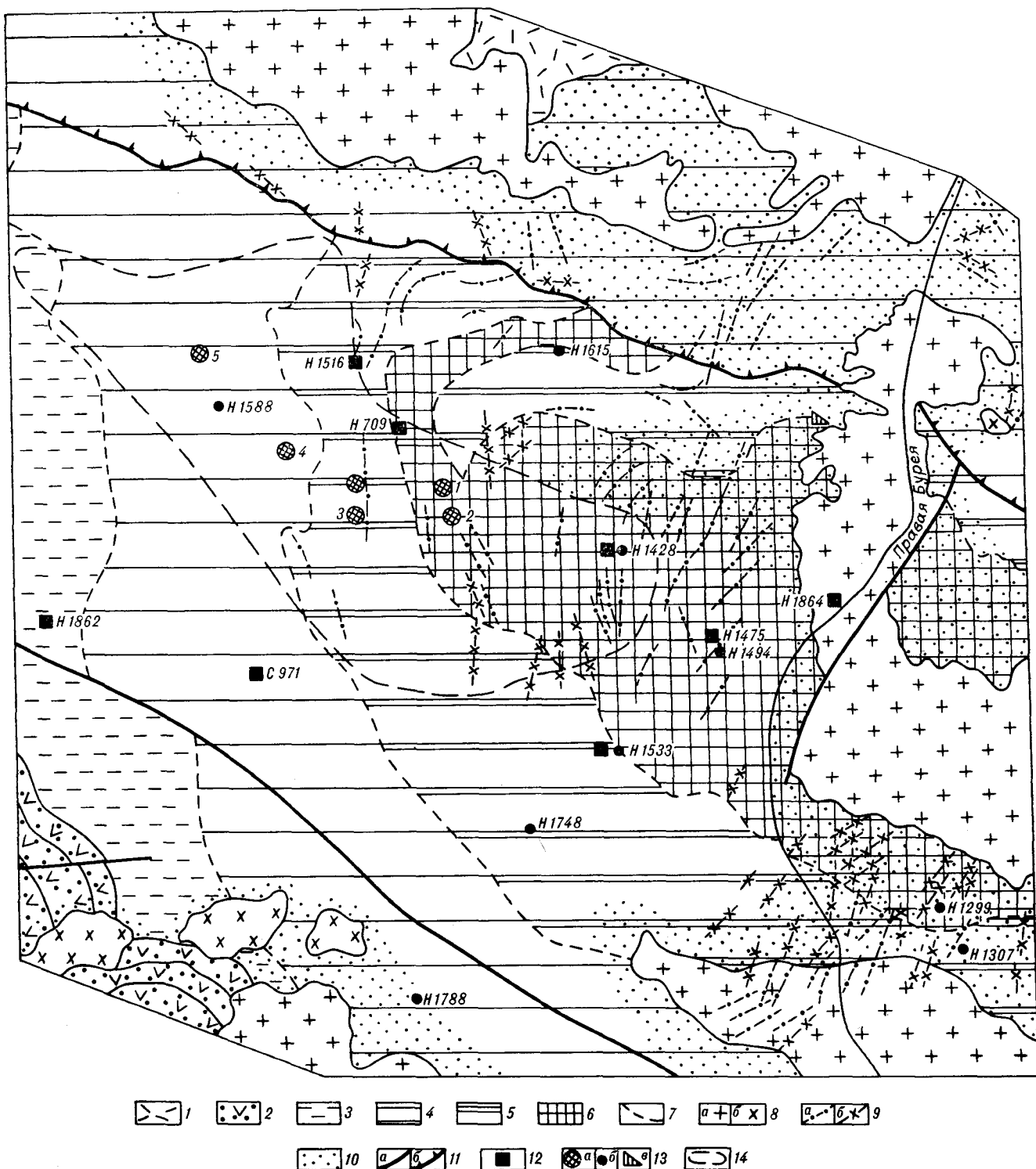


Рис. 1. Схема геологического строения западной части Правобуреинского сланцевого купола.

1 — позднемерловые вулканиты кислого состава; 2 — позднетриасовые вулканогенно-терригенные отложения; 3—6 — палеозойский метаморфический комплекс: 3 — аспидные сланцы и песчаники, 4 — филлиты и метапесчаники, 5 — полосчатые сланцы, 6 — альбит-порфиробластические сланцы; 7 — границы зон метаморфических структурно-текстурных преобразований; 8 — позднемерловые гранитоиды (а) и диориты (б); 9 — позднемерловые дайны кислого (а) и среднего (б) состава; 10 — ороговикованные породы; 11 — разломы крутопадающие (а) и пологопадающие (б); 12 — места отбора проб; 13 — проявления рудоносных кварцевых жил (а, номера см. в тексте и на рис. 2), безрудных кварцевых жил (б) и хрусталеносных прожилков (в); 14 — ореол развития рудоносных кварцевых жил.

разреза купола (385 и 425 млн лет)\* отвечает среднему — раннему палеозою. Следовательно, в строении геосинклиналиного комплекса, по-видимому, принимают участие палеозойские и раннемезозойские отложения, границы и характер соотношений между которыми пока не определены.

В ядре купола располагается крупный аллохтонный массив позднемеловых биотитовых гранитов, сопровождающихся широким ореолом биотит-мусковит-кварцевых роговиков и даек кислого состава. Позднемеловые интрузии в пределах купола представлены многочисленными дайками среднего состава, а на его периферии — штоками диоритов. Раннемеловые интрузии гранодиоритов располагаются в пределах южной периклинали купола.

Ореол зональных метаморфических преобразований пород геосинклиналиного комплекса в плане конформен купольной структуре. В центральной его части, на площади около 500 км<sup>2</sup>, обнажаются альбит-порфиробластические сланцы. Последние в направлении к периферии купола последовательно сменяются толщами полосчатых микрокристаллических сланцев, филлитов и песчано-аспидно-сланцевой толщей, залегающей за пределами купола (см. рис. 1). Контакты между названными толщами имеют характер постепенного перехода.

Метаморфизм терригенной составляющей разреза выражается в различной степени перекристаллизации пород и в характере сменяющих друг друга парагенезисов. Так, для порфиробластических и полосчатых сланцев наиболее характерна ассоциация граната, биотита, хлорита и мусковита. Для филлитов и метапесчаников типична ассоциация стильпномелана, хлорита и мусковита. В аспидных сланцах и песчаниках наряду с обломочным кварц-полевошпатовым и глинистым материалом присутствуют новообразованные гидрослюды, серицит и хлорит. Во всех разностях наблюдаются метаморфогенные кварц и альбит. Последний в порфиробластических сланцах образует крупные (до 2 см, обычно 3—5 мм) серые порфиробласты, а в полосчатых сланцах вместе с кварцем слагает слоеподобные агрегаты белого цвета мощностью не более 7 мм. В менее метаморфизованных терригенных разностях новообразованные кварц и альбит равномерно распределены во всей массе породы.

Исходя из изложенного, следует предполагать значительную флюидонасыщенность метаморфического комплекса в период его фор-

мирования, что выражается в порфиробластических структурах и полосчатых текстурах, представляющих собой отражение процессов метаморфической сегрегации, происходящей при активном участии флюидов.

Как уже отмечалось, характерной особенностью купольных структур Селемджино-Кербинской структурно-формационной зоны является связь с ними кварцевых жил. Безрудные кварцевые жилы имеют площадное развитие и встречаются во всех структурно-текстурных разностях метаморфизованных пелитов. Они залегают согласно со слоистостью и наиболее часты в местах резкого изгиба слоев, в том числе в зонах развития складок послыного течения. Наряду с преобладающим кварцем в их составе встречаются альбит, мусковит, хлорит и гранат. Рудные минералы в количестве менее 0,1 об. % представлены пиритом и арсенопиритом. Сходство ассоциаций жильных минералов и минералов вмещающих их пород, сложная морфология и согласное залегание при площадном развитии свидетельствуют о принадлежности этой группы кварцевых жил к образованиям альпийского типа.

Рудоносные жилы развиты более локально и известны аналогично безрудным во всех текстурно-структурных разностях метаморфизованных пелитов. Будучи как согласными, так и секущими они контролируются зонами рассланцевания, сопровождающимися в слабеметаморфизованных толщах дополнительными флексурными изгибами и складками с крутыми осевыми поверхностями, которые обычно отсутствуют в толщах более высокометаморфизованных. В связи с этим по направлению к периферии ореола зонального метаморфизма установлено увеличение относительной роли согласных малосульфидных жил по сравнению с жилами, секущими слои [11]. В составе этих жил, кроме преобладающего кварца, встречаются в небольшом количестве альбит, мусковит, хлорит. Рудные минералы в количестве до 5 об. % представлены арсенопиритом, пиритом, галенитом, сфалеритом, пирротинном, халькопиритом, блеклыми рудами.

Рудоносные жилы пересекают жилы безрудного типа и предшествующие кварц-альбитовые метасоматиты, т. е. являются более поздними.

Широко развитые в районе позднемеловые дайки кислого и среднего состава пересекают безрудные и рудоносные жилы. Дайки, в свою очередь, пересекаются жилами и прожилками умеренно сульфидного типа, содержащими до 10—15 об. % сульфидов, представленных в основном пиритом, галенитом, сфалеритом с небольшой примесью арсенопирита. Абсолютный возраст одной из таких даек мелкозернистого гранита, определенный К — Ag-методом по ва-

\* Определения выполнены С. Г. Парада в масс-спектрометрической лаборатории Ростовского государственного университета.

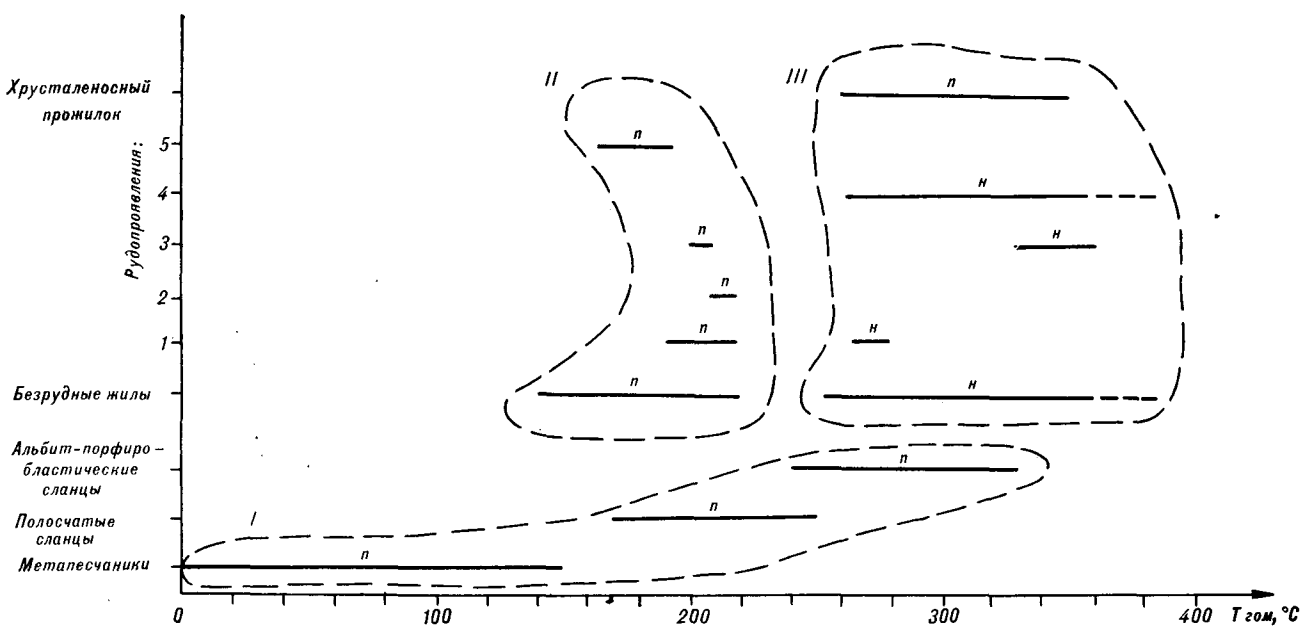


Рис. 2. Интервалы температур гомогенизации первичных (п) и наложенных (н) генераций флюидных включений в породах и кварцевых жилах.

Штрих означает, что верхний предел температур гомогенизации не установлен. Температурные поля: I — зонального метаморфизма, II — образования безрудных и рудоносных кварцевых жил, III — преобразования жил и формирование хрусталеносных прожилков.

ловому калию, составляет 63 млн лет (И. К. Билан, 1968 г.).

Взаимоотношения кварцевых жил с поздне-меловыми гранитоидами характеризуются следующими особенностями. Жилы безрудного типа вблизи поздне-меловых интрузий перекристаллизованы пропорционально степени ороговикования вмещающих пород. Рудоносные жилы в роговиках и гранитоидах не установлены. Умеренно сульфидные жилы кварца как в изученном, так и в других районах Селемджино-Кербинской зоны в связи с интрузиями мезозойских гранитоидов не установлены, а проявляют пространственную связь с мезозойскими дайками и эффузивами среднего состава.

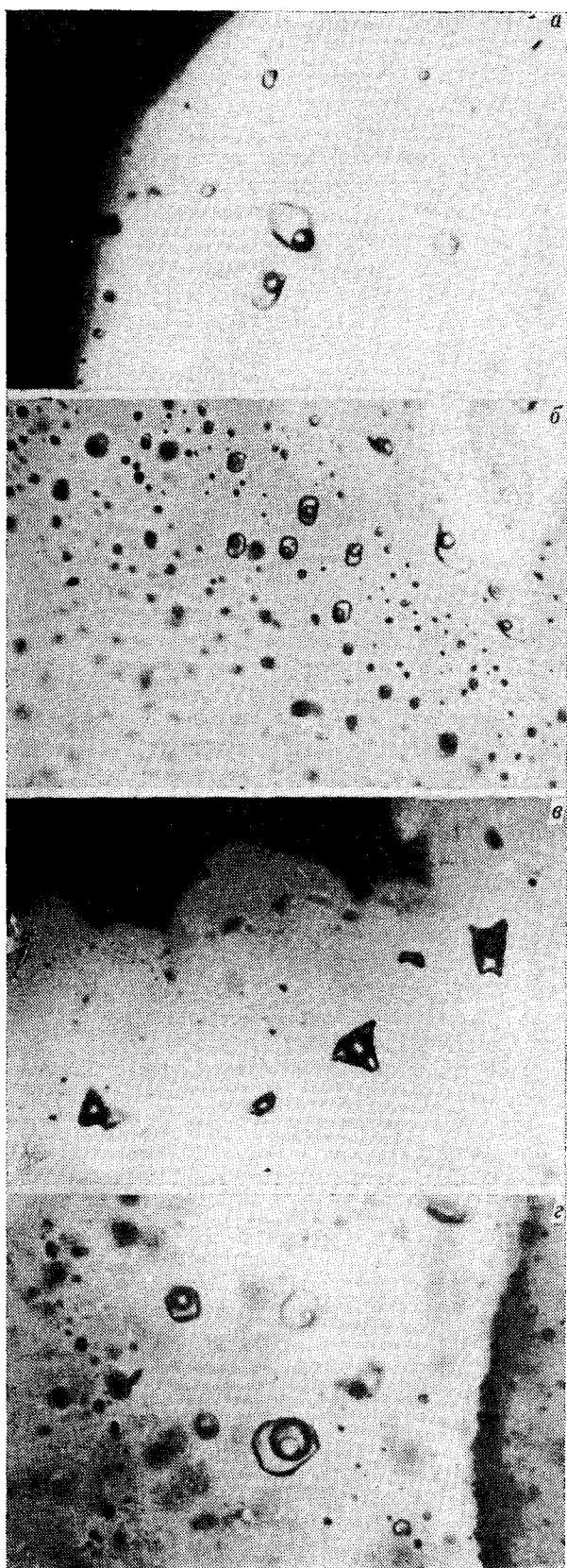
Методами термобарогеохимии кварцевые жилы Правобуреинского купола к настоящему времени мало изучены [5]. В то же время общность геологической позиции и состава позволяет отождествлять их с малосульфидными кварцевыми жилами бассейна верховья р. Селемджи, изученными методами гомогенизации, декрепитации и газовой хроматографии [9]. В частности, по кварцу с учетом стадийности процесса рудообразования методом гомогенизации флюидных включений получены [9] следующие результаты: предрудные метасаматиты — 260—400°C, первая стадия минерализации — 300—360, вторая стадия — 160—250, третья — 80—160°C. Состав газовой составляющей включений в малосульфидных жилах, определенный методом газовой хроматографии, характеризуется доминирующей ролью  $\text{CO}_2$

(до 80—92 об. %) при подчиненной роли  $\text{CH}_4$  (до 8 об. %) и  $\text{N}_2$  (6—12 об. %).

Термо- и криометрические исследования флюидных включений проводились на аппаратуре лаборатории физико-химических методов ИТиГ ДВНЦ АН СССР по стандартной методике.

Термобарогеохимия вмещающих метаморфизованных пород изучена в образцах метапесчаников златоустовской, полосчатых сланцев самырской и альбит-порфиробластических сланцев саларинской свит. Образцы отбирались в западной части Правобуреинского купола, вне зоны петрографически диагностируемого ороговикования, связанного со становлением мезозойских гранитоидов.

Метапесчаники исследованных образцов (Н-1862 и С-971-3) в зернах кварца содержат раннюю и позднюю генерации включений. Включения ранней генерации несут информацию об условиях образования зерен кварца в породах, подвергшихся размыву. Поздние включения, несущие информацию о процессе постдиagenетического преобразования (метаморфизма) метанесчаников, наблюдались в участках деформации или перекристаллизации обломочных зерен кварца. В кварце образца Н-1862 позднейшие генерации включений представлены однофазовыми холодноводными включениями. Кварц образца С-971-3 частично перекристаллизован и содержит водные включения, температуры гомогенизации которых варьируют от 0 (холодноводные) до 180°C (рис. 2).



Криометрические исследования показали, что вода во включениях практически чистая — ее оттаивание происходит вблизи  $0^{\circ}\text{C}$ .

Полосчатые сланцы исследованных образцов (Н-1533, Н-1516-3) представляют собой породы, кварц которых хорошо перекристаллизован и содержит четко выраженную генерацию метаморфогенных включений, гомогенизирующихся в интервале  $165\text{—}245^{\circ}\text{C}$ . Состав их существенно водный, хотя в некоторых случаях предполагается примесь хорошо растворимых солей, вероятнее всего, хлоридов. На это указывают пониженные до  $-2,5^{\circ}\text{C}$  температуры оттаивания включений.

Альбит-порфиробластические сланцы (обр. Н-705, Н-1428, Н-1475 и др.) являются наиболее высокометаморфизованными породами купола. В их кварце установлены метаморфогенные включения практически чистых водных растворов ( $T_{\text{отт}} = 0^{\circ}\text{C}$ ), температуры гомогенизации которых колеблются от  $240$  до  $330^{\circ}\text{C}$  (рис. 3, а).

Таким образом, по данным термобарогеохимии, преобразования пород Правобуреинского купола имеют характер низкотемпературного зонального метаморфизма. Температуры гомогенизации включений в них по направлению к центру купольной структуры последовательно повышаются от  $0$  до  $180^{\circ}\text{C}$  в метапесчаниках, от  $165$  до  $245^{\circ}\text{C}$  в полосчатых сланцах и от  $240$  до  $330^{\circ}\text{C}$  в альбит-порфиробластических сланцах.

Термобарогеохимия гранитоидов изучена в образцах аллохтонных позднемеловых гранитов ядра Правобуреинского купола. Это породы порфировой структуры с крупными зернами плагиоклаза или кварца, выделяющимися на фоне основной массы, сложенной кварцем, калишпатом, олигоклазом и биотитом.

По характеру структур кристаллизации и взаимоотношениям друг с другом в гранитоидах установлены две генерации кварца. Ранний водно-прозрачный кварц в значительной мере перекристаллизован и замещается поздним молочно-белым кварцем, по-видимому, в результате автосоматических преобразований гранитоидов. В позднем кварце преобладают первичные и первично-вторичные газово-жидкие включения. Они имеют существенно водный состав и гомогенизируются при  $200\text{—}235^{\circ}\text{C}$ . В раннем кварце гранитов наблюдаются включения с теми же характеристиками, но здесь они носят наложенный характер. Магматогенных включений флюидов и раскристаллизованных расплавов не обнаружено. Установленные

Рис. 3. Флюидные включения в кварце: а — порфиробластических сланцев,  $\times 630$ , б — безрудных кварцевых жил: первичная генерация (б),  $\times 400$ , наложенная генерация (в),  $\times 630$ , водно-углекислотные (г),  $\times 630$ .

термобарогеохимические характеристики гранитов могут быть интерпретированы двояко: наложенный процесс при участии существенно водного флюида или интенсивный автотомасоматоз. Поскольку включения с данными характеристиками обнаружены только в гранитах и не отмечены в изученных метапелитах безрудных и рудоносных кварцевых жилах, более логичной нам представляется гипотеза автотомасоматоза гранитоидов, который проходил при участии существенно водного флюида, отделившегося от кристаллизующейся гранитной магмы.

Термобарогеохимия безрудных кварцевых жил изучалась в образцах, отобранных в поле развития пород разной степени метаморфической перекристаллизации (см. рис. 1). Кроме того, изучались образцы жил из метапелитов, ороговикованных позднемеловыми гранитоидами. Для кварца жил, залегающих за пределами петрографически диагностируемой области ороговикования, характерно наличие двух генераций включений — ранней и поздней. Раннюю генерацию образуют первичные и первично-вторичные газовой-жидкие существенно водные включения с температурами гомогенизации, возрастающими по направлению к центру купола. Так, в сериях образцов Н-1748-1, Н-1533, Н-1494 и Н-1588-1, Н-1615-1, Н-1428 (см. рис. 1) она возрастает соответственно в последовательности 160, 205, 200—220 и 140, 220, 160—220°C (см. рис. 2). Приведенные замеры производились по зонам и группам включений, имеющим одинаковое наполнение (см. рис. 3, б) — гомогенный захват, отсутствие аномализации. В то же время значительное количество зон и групп включений этой генерации дают большие разбросы  $T_{\text{гом}}$  от 0 до 315°C. Последнее связано, во-первых, с явлениями гетерогенного захвата, т. е. материал жил формировался из вскипающих растворов. Во-вторых, многие включения ранней генерации являются аномальными — взорванными в результате вторичного прогресса. На это указывают образование вокруг них ореола мелких включений и завышенные температуры гомогенизации. С вторичным прогрессом непосредственно связана поздняя наложенная генерация включений. Они обычно крупные, плохо ограниченные (см. рис. 3, в), трассируют залеченные трещины и потому диагностируются как вторичные. В их составе также преобладает вода, а температуры гомогенизации колеблются от 255 до 360°C и в целом возрастают по мере приближения к центру купола и расположенному здесь гранитному массиву.

Образцы Н-1299-1, Н-1307-2 и Н-1788-1 отбирались из гранулированного кварца безрудных жил, залегающих в интенсивно ороговикованных метапелитах. В кварце этих образцов

преобладают высокотемпературные ( $T_{\text{гом}} = 340—360^\circ\text{C}$ ) газовой-жидкие включения (см. рис. 3, г). При этом здесь они носят характер первичных, что указывает на значительную перекристаллизацию жильного кварца. Криометрическими исследованиями установлено, что в составе этих включений наряду с водой присутствует сжиженная углекислота. Температуры ее гомогенизации варьируют от +25 до +31°C (и выше), а температуры оттаивания понижены до  $-58^\circ\text{C}$ , что может свидетельствовать о наличии незначительной примеси низкипящих газов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ ).

Таким образом, установлено, что безрудные кварцевые жилы содержат две основные генерации включений — раннюю и позднюю. Ранняя (первичная) отражает процесс становления жил. При этом последовательное повышение температур гомогенизации первичных включений к центру купола подтверждает точку зрения большинства исследователей района, связывающих их образование с зональным региональным метаморфизмом. Более низкие температуры гомогенизации первичных включений в жилах по сравнению с аналогичными включениями во вмещающих их метапелитах свидетельствуют о формировании их на регрессивной стадии зонального метаморфизма. Наличие групп первичных включений, формировавшихся, по-видимому, из вскипающего раствора, обусловлено резким снижением давления в жилотемщающих полостях. Они формировались в результате тектонических деформаций и одновременно заполнялись кремнеземсодержащими растворами, проникающими в названные полости из вмещающих пород. Происходившее, вероятно, при этом резкое падение давления в образующихся полостях приводило к вскипанию растворов. Поздняя водно-углекислотная генерация включений, судя по ее ярко выраженной «вторичной» природе в неизменном кварце безрудных жил и тяготению к областям ороговикования, является наложенной и связана со становлением позднемезозойских гранитоидов.

Термобарогеохимия рудоносных кварцевых жил изучалась на рудопроявлениях северо-западной периклинали Правобуреинского купола и в его ближайшем обрамлении (см. рис. 1). Как и в бассейне верховьев р. Селемджи, здесь выделяются три генерации кварца. Первая представлена серым и светло-серым (до белого) плотным нераскристаллизованным кварцем, часто содержащим обломки в разной степени замещенных вмещающих пород. Количество этого кварца, образовавшегося, по-видимому, метасоматическим путем, убывает на изученных рудопроявлениях в направлении на юго-восток. Кварц второй генерации крупнозернистый молочно-белый или полупрозрачный

ный. Иногда он образует массивные агрегаты за счет перекристаллизации кварца первой генерации без видимых сопутствующих тектонических деформаций. В другом случае образование второй генерации шестоватого кварца сопровождается дроблением раннего метасоматического кварца, который часто сохраняется в виде неперекристаллизованных реликтов. Кварц третьей генерации имеет незначительное развитие. Он слагает друзовидные агрегаты водяно-прозрачных кристалликов горного хрусталя, выполяющих стенки мелких пустот и аналогичного облика тонкие прожилки в кварце двух первых генераций. Вторая и третья генерации кварца в большей мере характерны для юго-восточного фланга зоны развития жил.

Кварц-альбитовые метасоматиты, предшествующие рудоносным жилам, и кварц первой генерации этих жил при изучении оказались малоинформативными. Даже при больших (в 800—1000) увеличениях они выглядят мутными, сливными, переполненными недиагностируемыми микровключениями (<1 мкм), изучение которых применяющимися методами невозможно. Прозрачный кварц второй и третьей генераций наиболее информативен. Он наполнен газовой-жидкими включениями, в составе которых преобладает вода, но нередко отмечается и жидкая углекислота. Установленный микроскопически полупрозрачный кварц является продуктом незавершенной перекристаллизации кварца первой генерации с образованием кварца второй генерации. Как результат этого процесса наблюдаются участки замещения и прожилки второй генерации кварца, развивающегося по непрозрачному кварцу первой генерации, который в ходе этого процесса очищается от микровключений неясной природы.

В отдельных случаях на изученных рудопрооявлениях наблюдается еще одна — самая поздняя — генерация кварца, представленная его серой и светло-серой разновидностями, которая сопровождается большим (до 10—20%) количеством сульфидов, главным образом пирита, галенита, сфалерита, арсенопирита. Этот кварц слагает жилы умеренно сульфидного типа, образовавшиеся после внедрения мезозойских даек, о чем свидетельствуют наблюдающиеся случаи пересечения даек такими жилами. В термобарогеохимическом отношении этот кварц аналогично кварцу первой генерации рудоносных жил оказался неинформативным.

Изучены образцы кварца, отобранного из рудопрооявлений, залегающих в метапелитах разной степени метаморфической перекристаллизации.

Рудопрооявления 1 и 2 залегают в метасоматически измененных порфиробластических сланцах. В прозрачном и полупрозрачном квар-

це здесь установлены две генерации включений — первичная и наложенная. Первая представлена хорошо ограниченными, нередко аномализованными газовой-жидкими существенно водными включениями с  $T_{\text{гом}} = 190—220^{\circ}\text{C}$  (см. рис. 2).

Включения наложенной генерации часто содержат сжиженную углекислоту, которая преобладает в некоторых включениях. Температуры гомогенизации углекислоты в таких включениях колеблются от +23 до +31 $^{\circ}\text{C}$ . Полная гомогенизация водно-углекислотных включений происходит в интервале 260—280 $^{\circ}\text{C}$ . Установлено, что стадии формирования водно-углекислотных включений по времени соответствуют осветлению ранних генераций кварца, а также образование участков и прожилков, в которых эти включения выступают в роли первичных.

Рудопрооявление 3 залегает в метасоматически измененных полосчатых сланцах и в кварц-альбитовых метасоматитах по этим же сланцам. В кварце обнаружены первичная ( $T_{\text{гом}} = 210—220^{\circ}\text{C}$ ) и наложенная ( $T_{\text{гом}} = 330—360^{\circ}\text{C}$ ) генерации водных газовой-жидких включений. При замораживании в газовой фазе второй генерации появляется жидкая углекислота, плотность которой ниже критической. Аналогично рудопрооявлениям 1 и 2 углекислота появляется во включениях в хорошо перекристаллизованном прозрачном кварце.

Рудопрооявление 4 расположено в филлитовидных сланцах и метапесчаниках. Преимущественное развитие здесь первой генерации кварца естественным образом ограничило возможность получения термобарогеохимической информации. Лишь в одном из семи исследованных образцов установлен хорошо раскристаллизованный кварц. В нем обнаружена одна генерация высокотемпературных газовой-жидких и кристаллофлюидных включений, содержащих в различных комбинациях  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$  и соль ( $\text{NaCl}$ ?). В этих включениях объем газа обычно преобладает над объемами жидкой и твердой фаз, что указывает на повышенные температуры и малые давления при их образовании. Частичная гомогенизация кристаллофлюидных включений происходит при 280 $^{\circ}\text{C}$ . Полную гомогенизацию наблюдать не удалось из-за разгерметизации. Углекислота, как и в предыдущих рудопрооявлениях, низкоплотная.

Рудопрооявление 5 расположено среди кремнистых сланцев и филлитов. Здесь преобладает нераскристаллизованный кварц первой генерации. В образце полупрозрачного кварца установлены первичные газовой-жидкие водные включения с температурой гомогенизации 165—195 $^{\circ}\text{C}$ . Включений высокотемпературной наложенной генерации на рудопрооявлении не установлено.



Проведенное термобарогеохимическое исследование рудоносных кварцевых жил показывает, что в процессе их формирования выделяются три стадии. Первой отвечает нераскристаллизованный метасоматический кварц первой генерации. Отсутствие диагностируемых включений не позволяет охарактеризовать его термобарогеохимические параметры. Но учитывая его постоянную встречаемость в рудоносных жилах северо-западного фланга зоны их развития и представления о регрессивной направленности постмагматического и метаморфогенно-гидротермального рудообразующих процессов, можно предполагать, что температуры формирования метасоматического кварца, как, по-видимому, и предшествующих ему кварц-альбитовых метасоматитов, будут несколько более высокими, чем у кварца второй генерации, и более низкими, чем у кварца безрудных альпийских жил из соответствующих метаморфических зон. Последующая перекристаллизация кварца первой генерации привела к широкому развитию кварца второй генерации. Температуры гомогенизации в нем в своих максимальных и минимальных значениях имеют тенденцию к увеличению в направлении на юго-восток. Кварц третьей генерации по наличию водно-углекислотных включений и повышенным до  $265\text{--}360^\circ\text{C}$  и более температурам их гомогенизации резко отличается от предшествующих ему генераций кварца, т. е. имеют место существенное изменение состава флюида и значительный ( $>100^\circ\text{C}$ ) подъем температуры. Этот процесс, как и в случае рассмотренных выше безрудных жил, может быть связан с процессом становления позднемеловых гранитоидов.

Термобарогеохимия хрусталеносного прожилка изучена в образцах кристаллов кварца, отобранных из проявления, расположенного в западном экзоконтакте массива позднемеловых гранитов среди окварцованных роговиков, образовавшихся по полосчатым сланцам. Встречающиеся в пределах купола и на его периферии другие аналогичные проявления располагаются как в более молодых, так и в более древних свитах геосинклинального комплекса, но всегда в зонах интенсивного ороговикования или же в самих позднемеловых гранитах (см. рис. 1).

Кварц изученного прожилка равномерно наполнен удлинёнными, хорошо ограненными первичными газовой-жидкими включениями, в которых иногда присутствует кубик  $\text{NaCl}$ (?). Гомогенизация таких включений происходит при температурах от  $260$  до  $350^\circ\text{C}$ . Часто отмечается неравномерное наполнение включений, что указывает на кристаллизацию кварца из кипящего раствора. Криометрические исследования показали существенно водный со-

став включений и отсутствие в них  $\text{CO}_2$  или каких-либо других низкокипящих газов.

Нахождение хрусталеносных прожилков в окварцованных роговиках экзоконтакта или в самих гранитах и отсутствие явлений грануляции кварца могут свидетельствовать о постмагматическом образовании таких прожилков.

Согласно полученным данным, первое проявление флюидной активности в пределах Правобуреинского купола связано с зональным метаморфизмом метапелитов. При этом температуры гомогенизации существенно водных газовой-жидких включений в кварце метапесчаников варьируют от  $0$  до  $180^\circ$ , а в кварце порфиробластических сланцев — от  $240$  до  $330^\circ$ . Температуры гомогенизации газовой-жидких включений обычно ниже температур их захвата. Если принять давление при образовании изученных пород порядка  $1$  кбар, то поправки к полученным температурам гомогенизации, по данным [8], составят  $50\text{--}60^\circ\text{C}$ . Таким образом, верхние температурные пределы метаморфизма составят:  $230^\circ\text{C}$  для метапесчаников,  $295^\circ\text{C}$  для полосчатых и  $380^\circ\text{C}$  для порфиробластических сланцев, что отвечает прогрессивной метаморфической зональности преобразований метапелитов.

В соответствии с приведенными типоморфными парагенезисами и температурами гомогенизации метаморфогенных включений сланцы Правобуреинского купола отвечают добититовой и биотитовой субфациям зеленосланцевой фации [7]. Вертикальный стратиграфический интервал, в котором изучена термобарогеохимия метапелитов, составляет  $6$  км, что позволяет приблизительно оценить температурный градиент, существовавший в период кульминации метаморфизма, в  $25^\circ\text{C}/\text{км}$ .

Следующий этап эволюции флюидного режима во времени связан с образованием безрудных кварцевых жил альпийского типа. Температурный интервал этого процесса с поправкой на давление  $1$  кбар составляет  $190\text{--}270^\circ\text{C}$ . Значительно более низкие, чем во вмещающих метапелитах, температуры образования жил указывают на регрессивную направленность метаморфизма на этом этапе. Температурный градиент, исходя из разноса точек отбора изученных образцов из таких жил по условной стратиграфической вертикали на  $7$  км, на данном этапе приблизительно оценивается в  $10^\circ\text{C}/\text{км}$ , т. е. меньшей величиной, чем в период кульминации метаморфизма.

Образование вторичных водных и водно-углекислотных включений в кварце безрудных жил по своим параметрам отвечает значительному повышению температур минералообразования, которые с поправкой на давление в  $1$  кбар могли достигать  $300\text{--}410^\circ\text{C}$ . Рост температур гомогенизации и насыщенности угле-



кислотой вторичных включений по направлению к гранитному массиву позволяет предполагать, что определяющим это явление следует считать процесс становления позднемеловых гранитоидов. Несоответствие водно-углекислотного состава вторичных включений в кварце безрудных жил существенно водному составу включений в гранитах объяснимо с позиций флюидно-магматического взаимодействия [4]. Согласно последнему, расплав, через который проходит окисляющийся трансмагматический флюид, активно поглощает водную составляющую продуктов окисления, пропуская в окружающее околоинтрузивное пространство  $\text{CO}_2$  и другие газы. При таком ходе процесса вода из магматической системы удаляется в основном в период кристаллизации расплава, чем можно объяснить существенно водный состав некоторой части вторичных включений в кварце безрудных кварцевых жил.

Дальнейшая эволюция флюидного режима во времени, исходя из геологических и термобарогеохимических данных, связана с формированием рудоносных кварцевых жил и предшествующих им кварц-альбитовых метасоматитов. Кварц второй стадии рудоносных жил кристаллизовался из существенно водного флюида при температурах, рассчитанных с поправкой на давление в 1 кбар, от 210 до 270°C. В направлении к центру купола и гранитному массиву в рудоносных жилах наблюдается тенденция к повышению максимальных и минимальных температур гомогенизации первичных и вторичных включений, увеличивается доля крупнозернистых изометрично-полигональных и шестоватых агрегатов кварца второй генерации.

В рудоносных жилах, как и в безрудных, ярко выражена вторая наложенная генерация поздних водно-углекислотных включений, полностью гомогенизирующихся с учетом поправки на давление в 1 кбар при температурах 260—360°C и более. В третьей генерации кварца, представленной водно-прозрачными прожилками и друзочками, эти включения имеют характер первичных.

Таким образом, в рудоносных жилах в отношении термобарогеохимических параметров установлен тот же характер развития процесса минералообразования, что и в безрудных жилах. Близкие температуры гомогенизации и единый состав флюида во включениях, изменение их в соответствии со степенью метаморфизма вмещающих пород позволяют предполагать близость во времени формирования этих типов жил в условиях температурного градиента, оцениваемого приблизительно в 10°C/км. В отличие от безрудных, рудоносные жилы тяготеют к крутопадающим разрывам, которые контролируют размещение линей-

ных зон кварцальбитовых метасоматитов. Процесс становления позднемеловых гранитоидов отразился в жилах обоих типов не только образованием наложенных включений, но и формированием собственной генерации водно-прозрачных кварцевых прожилков и друзочек горного хрусталя. В последних наблюдались только первичные высокотемпературные водные и водно-углекислотные включения, которые по температурам гомогенизации и составу аналогичны вторичным включениям в кварце безрудных и рудоносных жил.

Изученное проявление горного хрусталя представляет собой пространственно обособленное образование, по времени отвечающее третьей стадии формирования рудоносных кварцевых жил. Такие хрусталеносные прожилки образовались в приконтактовой зоне позднемеловых гранитов на поздней стадии их становления, в период кристаллизации магматического расплава, что, по данным [4], обусловило существенно водный состав флюида.

Наличие во включениях поздней генерации углекислоты позволяет оценить давление при их образовании. В жилах рудопроявления 1 гомогенизация  $\text{CO}_2$  в чисто углекислотных включениях происходит при температурах +25 ÷ +31°C, а в водно-углекислотных — при +23 ÷ +27°C. Полная гомогенизация водно-углекислотных включений происходит при 265—280°C. Давление, определенное по водно-углекислотным включениям с применением диаграммы  $T - X$  с изобарами [6], равно 0,8 кбар при 280°C. По этим же включениям, применяя диаграмму  $P - T - V$  для чистой углекислоты [3, 15, 16], получаем давление порядка 1 кбар. По сингенетичным включениям практически чистой углекислоты гетерогенного захвата расчетные давления при 280°C достигают также 1 кбар. Гранулированный кварц безрудных жил содержит наложенную генерацию существенно водных и водно-углекислотных включений с частичной гомогенизацией  $\text{CO}_2$  от +25 до +31°C (и выше) и полной гомогенизацией при 340—360°C. Максимальные давления, рассчитанные по этим данным, достигают 1, 2 кбар.

В связи с изложенным можно заключить, что рудоносные кварцевые жилы Правобурунского купола сформировались до начала становления меловых гранитоидов, поскольку связанная с ороговикованием генерация флюидных включений в кварце жил имеет ярко выраженный наложенный характер. Предполагаемая для бассейна верховьев р. Селемджи парагенетическая связь рудоносных кварцевых жил с пострудными дайками и штоками среднего состава [14] не дает объяснения наблюдаемых в районе элементов рудной зонально-

сти. Последняя проявляется в зависимости температур гомогенизации первичных включений от степени метаморфизма вмещающих пород, связь с ней таких характеристик, как кристалломорфология и геохимия сульфидов, соотношение в жилах кварца первой и второй генераций с ранними существенно водными включениями и т. д.

Анализ приведенного материала позволяет констатировать, что аналитические данные и генетические построения, основанные на методах газовой хроматографии и декрепитации [9], существенно противоречат проведенной нами термо- и криометрии индивидуализированных включений. Так, установлен существенно водный состав материнских флюидов для рудных и безрудных жил, а установленное [9] высокое содержание  $\text{CO}_2$  в валовом составе флюида связано с преобразованием жил в период становления меловых гранитоидов. Поэтому третья генерация кварца по отношению к изученным жилам является эпигенетической — отделенной от их формирования мезозойским магматизмом и во времени, по-видимому, сопоставима с хрусталеносными прожилками. Поскольку наиболее продуктивной в отношении оруденения является стадия минерализации, связанная с формированием кварца второй генерации, наиболее вероятной, как это предполагалось ранее [1, 10], нам представляется связь основного оруденения во времени с зональным метаморфизмом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Буряк В. А. Кварцевожильная и сопутствующая золотосульфидная минерализация, развитая в углеродистых толщах Приамурья. — В кн.: Металлогения Приамурья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981.
2. Буряк В. А. Метаморфизм и рудообразование. — М.: Недра, 1982.
3. Варгафиг Н. В. Справочник по физическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Наука, 1972.
4. Глебовицкий В. А., Зингер Т. Ф. и др. Мигматизация и гранитообразование в различных термодинамических режимах. — Л.: Наука, 1985.
5. Грибанов А. П., Шевкаленко В. Л. Условия образования золотоносных кварцевых жил в инатинской свите докембрия (Приамурье). — В кн.: Термобарогеохимия и рудогенез. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980.
6. Калужный В. А. Основы учения о минералообразующих флюидах. — Киев: Наук. думка, 1982.
7. Кориковский С. П. Фашии метаморфизма метapelитов. — М.: Наука, 1969.
8. Леммлейн Г. Г., Клевцов П. В. Соотношение термодинамических параметров  $P-T-V$  для воды и 30%-х водных растворов  $\text{NaCl}$ . — Записки ВМО, 1956, ч. 85, № 4.
9. Моисеенко В. Г. Геохимия и минералогия золота рудных районов Дальнего Востока. — М.: Наука, 1977.
10. Моисеенко В. Г., Неронский Г. И. Связь золотоносности с региональным метаморфизмом. — В кн.: Во-

ИтлГ ДВНЦ АН СССР  
Хабаровск

1. Сланцы Правобуреинского купола сформировались в ходе прогрессивного зонального метаморфизма в условиях добититовой и биотитовой субфаций зеленосланцевой фации. Температура метаморфизма, происходившего при участии флюида существенно водного состава, достигала в метapelитовых сланцах  $230^\circ\text{C}$ , в полосчатых сланцах  $295^\circ\text{C}$ , а в альбит-порфиробластических сланцах  $380^\circ\text{C}$ .

2. Безрудные и рудоносные кварцевые жилы, а также кварц-альбитовые метасоматиты сформировались на регрессивной стадии зонального метаморфизма при участии существенно водного флюида. Температуры образования, определенные методом гомогенизации, составили для безрудных жил  $190-270^\circ$ , а для рудоносных жил  $210-270^\circ\text{C}$ .

3. Высокотемпературные преобразования этих жил связаны со становлением мелового гранитоидного интрузивного комплекса и выразились в формировании наложенных генераций водно-углекислотных и углекислотных включений. Водно-углекислотный состав вторичных включений на удалении от гранитного массива обусловлен флюидно-магматическим взаимодействием, в то время как водный состав включений в хрусталеносных прожилках связан с осушением магматической камеры в связи с кристаллизацией расплава.

- просы геологии, петрологии и металлогении метаморфических комплексов Востока СССР. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1968.
11. Неменман И. С. Особенности локализации золотого оруденения в условиях структурно-метаморфической зональности черносланцевых толщ Селемджинско-Кербинской металлогенической зоны (Среднее Приамурье). Автореф. канд. дис. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984.
  12. Неронский Г. И. Золоторудная минерализация Верхнеселемджинского района. Автореф. канд. дис. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1967.
  13. Сидоров Ю. Ф., Кириллова Г. Л. Новые данные о возрасте метаморфических толщ Сихотэ-Алинской складчатой системы. — Тихоокеанская геол., 1982, № 3.
  14. Шер С. Д., Ковалева О. И. О связи золотого оруденения с изверженными породами на одном из месторождений Приамурья. — Тр. НИГРИЗолото, вып. 21. М., 1956.
  15. Шмулович К. И., Терещенко Е. Н., Калинин А. Г. Уравнение состояния и изохоры неполярных газов до  $2000\text{K}$  и  $10\text{ГПа}$ . — Геохимия, 1982, № 11.
  16. Шмулович К. И., Шманов В. М. Таблицы термодинамических свойств газов и жидкостей. Двуокись углерода. Вып. 3. — М.: Изд-во стандартов, 1978.
  17. Эйриш Л. В. Куполовидные структуры Селемджинско-Кербинского поднятия и связь с ними золотого оруденения (Дальний Восток). Автореф. канд. дис. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1972.

Поступила в редакцию  
20 сентября 1985 г.