

УДК 548.4+549.514

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА ПОРОДООБРАЗУЮЩЕГО КВАРЦА ГРАНИТО-ГНЕЙСОВЫХ ФОРМАЦИЙ (АЛДАНСКАЯ ГРАНУЛИТО-ГНЕЙСОВАЯ ОБЛАСТЬ)

В.Б. Василенко, Н.Н. Зинчук\*, О.Е. Ковальчук\*, Л.Г. Кузнецова, Л.Д. Холодова

*Институт минералогии и петрографии СО РАН, г. Новосибирск;*

*\*АК «АПРОСА» Якутское научно-исследовательское геологоразведочное предприятие  
ЦНИГРИ, г. Мирный, Республика Саха (Якутия)*

В пределах тектоно-метаморфических циклов на щитах древних платформ различают несколько стадий изменения термодинамических режимов гранитообразования: прогрессивную, кульминационную, регрессивную и стадию постмигматитового метасоматоза. Изученная коллекция образцов гранитоидов из Нимнырского блока алданской гранулито-гнейсовой области представляет все стадии развития Алданского и некоторые стадии Унгринского циклов. Образцы гранитоидов охарактеризованы петрохимически, а кварцы из этих образцов - гранулометрическими статистиками, параметрами элементарной ячейки, содержаниями элементов-примесей в кварце. Направленное изменение термодинамических параметров гранитообразования обусловило направленное изменение петрохимических черт гранитоидов и, как следствие этого, направленное изменение кристаллохимических свойств кварца. По комплексу кристаллохимических свойств кварца гранито-гнейсовых формаций возможно предсказание петрохимических свойств содержащих кварц пород и принадлежности пород к определенным комплексам тектоно-метаморфических циклов. Эти особенности кварца гранито-гнейсовых формаций могут быть использованы при геодинамических реконструкциях и установлении областей сноса при поисках коренных источников алмаза, золота и других полезных ископаемых.

В пределах тектоно-метаморфических циклов на щитах древних платформ различают несколько стадий изменения термодинамических режимов гранитообразования: прогрессивную, кульминационную, регрессивную и стадию постмигматитового метасоматоза. Изученная коллекция образцов гранитоидов из Нимнырского блока алданской гранулито-гнейсовой области представляет все стадии развития Алданского и некоторые стадии Унгринского циклов. Образцы гранитоидов охарактеризованы петрохимически, а кварцы из этих образцов - гранулометрическими статистиками, параметрами элементарной ячейки, содержаниями элементов-примесей в кварце.

Направленное изменение термодинамических параметров гранитообразования обусловило направленное изменение петрохимических черт гранитоидов и, как следствие этого, направленное изменение кристаллохимических свойств кварца. По комплексу кристаллохимических свойств кварца гранито-гнейсовых формаций возможно предсказание петрохимических свойств содержащих кварц пород и принадлежности пород к определенным комплексам тектоно-метаморфических циклов.

Эти особенности кварца гранито-гнейсовых формаций могут быть использованы при геодинамических реконструкциях и установлении областей сноса при поисках коренных источников алмаза, золота и других полезных ископаемых.

Типоморфизм структурных и химических свойств породообразующего кварца гранитоидов разных формационных типов исследован достаточно полно [1-5]. Особенностью этих исследований является выбор в качестве объекта изучения породообразующего кварца из относительно петрологически

однородных, как правило, пространственно разделенных, гранитоидных объектов.

### Общие особенности гранито-гнейсовых формаций

Гранитообразование в гранито-гнейсовых формациях значительно растянуто во времени и характеризуется последовательностью термодинамических режимов, определяющих набор кристаллохимических свойств кварца и последовательность их смены. Этим диктуется необходимость выработки специальных приемов для выделения типоморфизма породообразующего кварца.

Согласно обобщенной схеме последовательности развития гранитообразования в тектоно-метаморфическом цикле [6] на начальном этапе происходит образование мигматитовой полосчатости (табл.1). В ходе складкообразующих движений на поздних этапах лейкосомы подвергаются разлинзованию и будинированию, метаморфогенный кварц лейкосомы, по-видимому, должен нести следы воздействия динамических нагрузок.

На рубеже между I и II стадиями происходит внедрение кварцевых диоритов-плагиогранитов. Комплекс плагиогранитов - кварцевых диоритов формируется из высокотемпературных относительно "сухих" расплавов, с максимальными субликвидусными температурами 900-1250°C. А.Б.Котов и Л.М.Саморукова [6] предполагают, что родоначальные для плагиогранитов и кварцевых диоритов расплавы представляют собой производные процессов дифференциации глубинных магматических расплавов основного и среднего состава. Логично предположить, что микроэлементный состав кварца и дру-

Принципиальная схема последовательности проявления мигматито- и гранитообразования в тектоно-метаморфических циклах раннего докембрия [6]

Тип ТМЦ	Стадии ТМЦ	Этапы деформации	Структурные формы	Метаморфизм	Аллохтонные ( $\gamma$ ) и автохтонные ( $m$ ) гранитоиды
Редуцированные ТМЦ	II	D <sub>6</sub>	S <sub>6</sub> – зоны разломов, бластомилолитизации и рассланцевания	Постмигматитовый метасоматоз	$\gamma_1$ – однофазные и многофазные массивы
		D <sub>5</sub>	F <sub>5</sub> – Прямые или лежащие открытые складки	Регрессивная стадия	$m_5$ – зоны полевошпатового порфиروبластеза и гранитизации
		D <sub>4</sub>	F <sub>4</sub> – прямые открытые складки		$\gamma_2, m_{4,5}$ – однофазовые массивы, жильные тела
		D <sub>3</sub>	F <sub>3</sub> – прямые открытые складки		$m_4$ – жильные тела, локализованные в трещинах, синхронных с F <sub>4</sub>
Полные ТМЦ	I	D <sub>2</sub>	F <sub>2</sub> – прямые сжатые и изоклиальные складки S <sub>2</sub> – кристаллизационная сланцеватость	Кульминационная стадия	$m_2$ – мигматитовая полосчатость, параллельная ОП F <sub>2</sub> и S <sub>2</sub> ; мигматиты с рассеянным (диффузным) гранитным материалом
		D <sub>1</sub>	F <sub>1</sub> – лежащие изоклиальные складки S <sub>1</sub> – пологая кристаллизационная сланцеватость	Прогрессивная стадия	$\gamma_1$ – однофазные и многофазные массивы $m_1$ – мигматитовая и (или) метаморфическая полосчатость, параллельная ОП F <sub>1</sub> и S <sub>1</sub>

Примечание: ТМЦ – тектоно-метаморфический цикл, ОП – осевая полость складки

гие его особенности могут запечатлеть специфику магматической дифференциации и связь кварцосодержащих пород с основными магмами. На последующих стадиях динамометаморфизма эти специфические признаки могли затухать, но вероятность сохранности протосвойств кварца остается все же весьма высокой.

После становления плагногранитов происходит формирование лейкосомы мигматитов  $m_2$  и жильных ультраметагенных гранитов  $m_3, m_4$  и  $m_5$ . Лейкосомы  $m_2$  могут наследовать вещество гранитоидов ранних этапов тектоно-метаморфического цикла.

Мигматиты ранних этапов могут существенно обогащаться и замещаться кварцем. Мигматиты поздних этапов являются существенно анатектическими образованиями, в пороодообразующих минералах которых обнаружены расплавные включения. Характерно одноактное зарождение расплавов гранитоидов, вещество которых перераспределяется на последующих этапах складкообразования.

Выделяется временной тренд эволюции составов ультраметагранитов от гранодиорит-тоналитов и низкощелочных гранитов на начальных этапах ультраметаморфизма к высокощелочным ультраметагранитам последних стадий. Ультраметагенные гранитоиды, согласно излагаемой схеме тектоно-метаморфического цикла, являются производными регрессивной стадии тектоно-метаморфического цикла при уменьшении давления и температуры.

По данным исследования включений, выполненного А.Б.Котовым и Л.М.Саморуковой [6], в тек-

тоно-метаморфических циклах некоторых регионов при переходе от этапа II-D<sub>2</sub> к II-D<sub>3</sub> (см.табл.1) температура изменяется от 725-710° С до 625-659°С. Ультраметаморфическое образование часто заканчивается формированием зон плагноклазового и калишпатового порфиروبластеза и зон интенсивной гранитизации. После формирования ультраметаморфических гранитов происходят складкообразующие движения, сопровождающиеся образованием зон разломов и бластомилолитизации. В катаклазированных и милонитизированных гранитоидах зерна кварца подвергаются деформации, дроблению и последующей перекристаллизации.

На поздних этапах развития тектоно-метаморфических циклов начинает преобладать аллохтонное гранитообразование. Здесь выделяются позднескладчатые или, при их отсутствии, постскладчатые интрузии калиевых гранитов. Они формируются на больших глубинах и при более высоких температурах по сравнению с ультраметагранитоидами, но вне связи с основными магмами. Кварц постскладчатых гранитоидов, по данным температур гомогенизации расплавных и газовой-жидких включений [6, стр.130-132], кристаллизуется в интервале 1100-1410° С, то есть в массе при более высоких значениях температур по сравнению с кристаллизацией кварца ультраметаморфических гранитоидов.

Сказанное позволяет выделить в пределах гранитоидов тектоно-метаморфического цикла три главных типа пороодообразующего кварца:

а) высокотемпературный, парагенетически связанный с основными расплавами:

б) высокотемпературный, парагенетически связанный с гранитоидным субстратом;  
 в) метаморфогенный, представленный регрессивным рядом метасоматических и анатектических образований.

В раннем докембрии Алданской гранулитогнейсовой области выделены Унгринский и Алданский тектоно-метаморфические циклы [7], в каждом из которых сменяют друг друга шесть комплексов гранитоидов. Эта схема является идеализированной детализацией упрощенных схем Е.М.Лазько [8], Ю.К.Дзевановского [9], Н.Г.Судовикова [10], Н.А.Соколова [11] и других, признававших двучленное строение циклов: ранний - комплекс гранито-гнейсов и более поздний - комплекс аллохтонных гранитоидов.

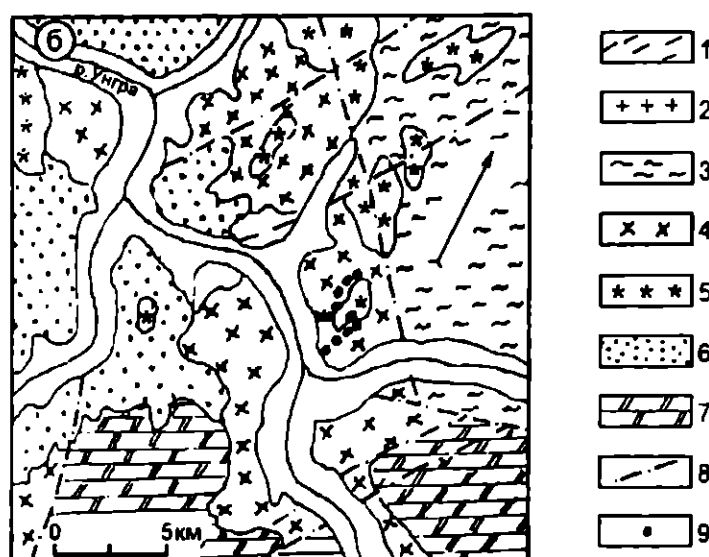
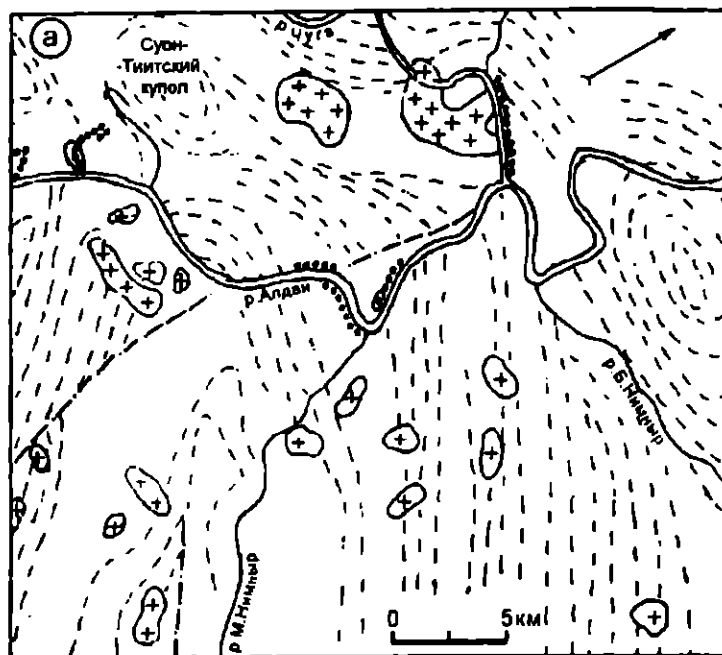
### Исследованные комплексы гранитоидов

В Нимнырском блоке Алданской гранулитогнейсовой области, где были отобраны исследованные нами образцы гранитоидов (рис.1), гранито-гнейсы отнесены нами к раннеалданскому (3,4 млрд. лет), а реоморфические граниты - к позднеалданскому (2,0 млрд. лет) и унгринскому (2,0 млрд. лет) комплексам (датировки приведены по [12]).

Гранито-гнейсы раннеалданского комплекса отличаются чрезвычайным непостоянством состава и структурно-текстурных особенностей.

По внешнему облику это породы от мелко- до крупнозернистых, розовато-серого, серого, розового и мяско-красного цветов. Структура гранобластовая, часто со следами давления, устанавливаемого по волнистому и мозаичному угасанию кварца. Породы сложены кварцем, микроклин-пертитом, олигоклазом. Биотит, роговая обманка и пироксен либо вовсе отсутствуют (в аляскитовых разностях на контакте с кварцитами и гранулитами), либо слагают до 10% объема породы (в случае ассоциации гранито-гнейсов с кристаллическими сланцами и мраморами менгрской серии).

Главной особенностью гранито-гнейсов является изменение их состава в зависимости от изменения состава вмещающих пород. Чрезвычайно типичны и текстурно-структурные особенности гранито-гнейсов на контактах с метаморфизованными инфракрустальными образованиями, выражающиеся в том, что во многих пунктах описываемого района видны постепенные переходы от гнейсов, кристаллических сланцев, кварцитов и metabазитов к гранитам через слабо инъецированные гнейсы, сильно инъецированные разности этих пород и типичные ленточные мигматиты, либо участки интенсивной фельдшпатитизации. При этом характерная для гранито-гнейсов полосчатая текстура, часто подчеркиваемая реликтами в разной степени гранитизированных пород, в подавляющем большинстве случаев согласна с элементами слоистости вмещающих толщ.



- 1 - [Symbol: Dashed lines]
- 2 - [Symbol: Three crosses]
- 3 - [Symbol: Wavy lines]
- 4 - [Symbol: Crosses]
- 5 - [Symbol: Stars]
- 6 - [Symbol: Dotted pattern]
- 7 - [Symbol: Horizontal lines]
- 8 - [Symbol: Diagonal lines]
- 9 - [Symbol: Small circle]

Рис. 1. Схема отбора образцов гранитоидов алданского (а) и унгринского (б) тектоно-метаморфических циклов: 1 - раннеалданские гранитоиды; 2 - позднеалданские гранитоиды; 3 - архейские гранитизированные породы; 4 - нижнепротерозойские гранитизированные породы; 5 - нижнепротерозойские лейкократовые граниты; 6 - протерозойские кристаллические сланцы и амфиболиты; 7 - нижнекембрийские доломиты; 8 - разрывные нарушения; 9 - места отбора образцов.

Гранито-гнейсы в описываемом районе окаймляют крупные блоки высокометаморфизованных пород выделенной Е.М.Лазько верхнеалданской свиты, расчленяющейся, по данным Л.М.Реутова [13] и В.И.Кицула с соавторами [14], на три подсвиты.

Граниты и гранитоидные породы позднеалданского комплекса по набору породообразующих минералов аналогичны гранито-гнейсам раннеалданского комплекса, отличаясь резко неравномерным распределением породообразующих минералов, зависящим от состава вмещающих пород. Они, как правило, представлены массивными крупно- и гигантозернистыми разностями с хорошо выраженными структурами замещения плагиоклаза и кварца микроклин-пертитом и последующей альбитизацией полевых шлатов. В отличие от гранито-гнейсов, которые образуют многочисленные массивы от огром-

ных пластовых тел до мелких послойных инъекций, граниты и гранитовидные породы позднеалданского комплекса формируют небольшие тела (от нескольких до сотен квадратных метров) весьма неправильных контуров, расположенные преимущественно среди гранито-гнейсов, к которым часто постепенно переходят.

В междуречьи рр.Алдана и Унгры В.И.Кицул и К.А.Лазебник [12] выделили в Унгринский комплекс гранитоиды, ассоциирующие с породами амфиболитовой фации. В состав этого комплекса вошли:

1) Раннеорогенные плагиограниты. Мелко- и среднезернистые породы этого типа окрашены в серые тона. Структуры пород несут следы сильных деформаций, сопровождавшихся катаклизмом и перекристаллизацией. Плагиограниты могут слагать пластовые жилы, участвовавшие в складчатости совместно с вмещающими метаморфизованными породами.

2) Позднеорогенные нормальные и существенно калиевые граниты розового и красного цвета, образующие крупные массивы неоднородного состава и строения, а также конформные жилы и дайки.

3) Посторогенные турмалиновые и амфиболовые граниты, формирующие дайки и жилы, резко секущие породы метаморфических комплексов и гранитоиды других групп.

Сопоставляя ранние и современные модели гранитообразования в докембрии Алданского щита следует констатировать их совпадение в главном. Модели тектоно-метаморфических циклов дополняют ранее предложенные схемы более детальным анализом мигматизации и складчатости, что, к сожалению, не всегда удается зафиксировать при специальном опробовании.

### Распределение породообразующих и радиоактивных элементов в породах комплексов

Особенности составов пород охарактеризованы в таблице 2. Группировка составов проведена по значениям  $SiO_2$  и сумме щелочей, с учетом граничных значений для видов гранитоидов, выделенных в "Классификации и номенклатуре..." [15].

Раннеалданский комплекс. Главной особенностью гранито-гнейсов является присутствие в их составе плагиоклазовых и лейкократовых видов. Обогащенность кварцем лейкократовых гранито-гнейсов сближает их составы с полевошпатовыми кварцитами иенгской серии. Лейкократовые виды гранито-гнейсов преобладают, а субщелочные находятся в подчиненных количествах. Переход от лейкократовых к субщелочным типам гранито-гнейсов происходит при уменьшении количества кремнекислоты, увеличении общей щелочности и количества

летучих компонентов. С этими тенденциями коррелировано возрастание содержания тория.

Позднеалданский комплекс. Составы жил и дайкообразных тел отвечают субщелочным породам раннеалданского комплекса, особенно по соотношению щелочей. В жильных гранитах  $K_2O/Na_2O$  составляет 1,6, а в гранито-гнейсах - от 1,5 до 1,7. В субщелочных гранитах позднеалданского комплекса  $K_2O/Na_2O = 1,8$ , а в дифференцированных разновидностях, состоящих из зон преобладания плагиоклазовых или микроклиновых разновидностей, - 1,6. По химическому составу они соответствуют низкощелочным гранитам и сиенитам, в среднем же близки к составам гранито-гнейсов. В породах позднеалданского комплекса обращает на себя внимание повышенный фон летучих компонентов и увеличение  $K_2O/Na_2O$  до 1,8.

Унгринский комплекс. Составы пород этого комплекса отличаются меньшими содержаниями кремнекислоты, большими содержаниями летучих компонентов и большими значениями общей щелочности. По величинам этих показателей унгринские гранитоиды выступают в качестве завершающих членов последовательности изменения составов лейкократовых гранито-гнейсов, однако низкое соотношение  $K_2O/Na_2O = 1,4$ , близкое к таковому в лейкократовых гранито-гнейсах верхнеалданского комплекса, свидетельствует о проявлении нового цикла гранитообразования на фоне регрессирующих Р-Т условий.

Приведенные химические особенности исследованных образцов свидетельствуют об адекватном отражении ими эволюции условий гранитообразования, намеченной в обобщенной модели тектоно-метаморфических циклов (см. табл.1).

### Гранулометрический состав кварца

Размерность зерен кварца в образцах гранито-гнейсов изучена в петрографических шлифах. Замерялись максимальные и минимальные размеры всех зерен, встретившихся при пересечении площади шлифа параллельными ходами интегриционного столика ИСА-5. Проведение полученных замеров рассматривалось как оценка площади сечения исследованного зерна кварца.

В результате каждый образец охарактеризован эмпирическим распределением частот величин площадей сечения зерен породообразующего кварца, изменяющимся в описываемых комплексах гранито-гнейсов от унимодальных отчетливо правоасимметричных до полимодальных, а затем левоасимметричных. Эта тенденция постепенно нарастает от раннеалданских гранито-гнейсов к субщелочным позднеалданским комплексам. Параллельно происходит изменение средних размеров зерен кварца (табл.3). При перекристаллизации и смене фациальных условий метаморфизма изменяется фор-

Таблица 2

Средние содержания (числитель) и стандартные отклонения (знаменатель) элементов в гранитоидах докембрийских комплексов

Порода	N	Оксиды											
		SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	II.п.п.	LgU	LgTh
<b>Раннеалданский комплекс</b>													
Плагиигранито-гнейсы	2	<u>68,25</u>	<u>0,48</u>	<u>17,25</u>	<u>2,95</u>	<u>0,11</u>	<u>1,14</u>	<u>2,35</u>	<u>4,55</u>	<u>2,65</u>	<u>0,48</u>	<u>0,34</u>	<u>1,08</u>
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Лейкократовые гранито-гнейсы	5	<u>74,60</u>	<u>0,36</u>	<u>13,66</u>	<u>2,47</u>	<u>0,12</u>	<u>0,53</u>	<u>0,80</u>	<u>3,06</u>	<u>4,74</u>	<u>0,44</u>	<u>0,35</u>	<u>1,06</u>
		0,73	0,13	1,31	0,45	0,04	0,24	0,21	0,60	0,52	0,28	0,19	0,54
Субщелочные лейкократовые гранито-гнейсы	9	<u>74,61</u>	<u>0,23</u>	<u>13,47</u>	<u>1,76</u>	<u>0,09</u>	<u>0,58</u>	<u>0,68</u>	<u>3,19</u>	<u>5,59</u>	<u>0,54</u>	<u>0,38</u>	<u>1,23</u>
		1,15	0,12	1,10	0,81	0,02	0,20	0,31	0,26	0,67	0,23	0,08	0,27
Субщелочные гранито-гнейсы	12	<u>71,23</u>	<u>0,43</u>	<u>15,15</u>	<u>2,68</u>	<u>0,12</u>	<u>0,75</u>	<u>1,29</u>	<u>3,47</u>	<u>5,16</u>	<u>0,48</u>	<u>0,34</u>	<u>0,32</u>
		1,28	0,15	1,14	0,84	0,03	0,16	0,47	0,10	0,45	0,13	0,08	0,22
<b>Позднеалданский комплекс</b>													
Граниты	2	<u>75,25</u>	<u>0,46</u>	<u>13,20</u>	<u>2,40</u>	<u>0,12</u>	<u>0,63</u>	<u>0,75</u>	<u>2,50</u>	<u>4,63</u>	<u>0,21</u>	<u>0,32</u>	<u>0,78</u>
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Жильные тела нормальных и субщелочных гранитов	5	<u>73,00</u>	<u>0,30</u>	<u>14,94</u>	<u>1,79</u>	<u>0,10</u>	<u>0,63</u>	<u>1,10</u>	<u>3,35</u>	<u>5,21</u>	<u>0,51</u>	<u>0,33</u>	<u>1,19</u>
		2,28	0,15	1,78	0,53	0,02	0,20	0,43	0,30	0,56	0,12	0,02	0,27
Субщелочные автохтонные граниты	15	<u>72,07</u>	<u>0,34</u>	<u>15,46</u>	<u>2,13</u>	<u>0,10</u>	<u>0,57</u>	<u>0,89</u>	<u>3,06</u>	<u>5,58</u>	<u>0,55</u>	<u>0,36</u>	<u>1,28</u>
		2,17	0,15	1,32	0,69	0,02	0,26	0,36	0,43	0,55	0,27	0,06	0,41
Зона порфиробластической дифференциации	4	<u>71,50</u>	<u>0,44</u>	<u>15,65</u>	<u>2,70</u>	<u>0,12</u>	<u>0,90</u>	<u>1,20</u>	<u>3,04</u>	<u>4,80</u>	<u>0,56</u>	<u>0,38</u>	<u>1,14</u>
		6,58	0,12	3,49	0,83	0,02	0,31	0,63	1,17	0,52	0,14	0,08	0,69
<b>Унгринский комплекс</b>													
Субщелочной лейкократовый гранито-гнейс	1	<u>74,00</u>	<u>0,20</u>	<u>13,70</u>	<u>1,60</u>	<u>0,08</u>	<u>0,90</u>	<u>0,85</u>	<u>3,60</u>	<u>4,60</u>	<u>0,70</u>	<u>0,15</u>	<u>1,50</u>
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Субщелочные автохтонные граниты	8	<u>70,93</u>	<u>0,24</u>	<u>16,06</u>	<u>1,69</u>	<u>0,09</u>	<u>0,73</u>	<u>0,90</u>	<u>3,78</u>	<u>5,45</u>	<u>0,75</u>	<u>0,30</u>	<u>1,38</u>
		1,12	0,08	0,93	0,29	0,02	0,10	0,15	0,31	0,42	1,21	0,07	0,40
Зона порфиробластической дифференциации	1	<u>60,00</u>	<u>0,24</u>	<u>22,50</u>	<u>1,20</u>	<u>0,15</u>	<u>0,60</u>	<u>0,80</u>	<u>3,50</u>	<u>10,7</u>	<u>0,15</u>	<u>0,11</u>	<u>0,00</u>
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 3

Средние размеры зерен кварца (мм) из гранитоидов докембрийских комплексов Алдана (числитель – средний размер, знаменатель – стандартное отклонение)

Порода	n	Размер зерна	Порода	n	Размер зерна
<b>Раннеалданский комплекс</b>			<b>Позднеалданский комплекс</b>		
Плагиигранито-гнейсы	1	<u>1,46</u>	Граниты	2	<u>3,80</u>
		-			-
Лейкократовые гранито-гнейсы	3	<u>1,33</u>	Жильные тела нормальных и субщелочных гранитов	5	<u>2,49</u>
		0,47			1,17
Субщелочные лейкократовые гранито-гнейсы	6	<u>1,91</u>	Зона порфиробластической дифференциации	2	<u>1,19</u>
		0,81			-
Субщелочные гранито-гнейсы	9	<u>2,04</u>			-
		0,83			-

Примечание: n – число анализов

ма распределений размерности кварцевых зерен от правоасимметричных до симметричных [16].

Система содержательной интерпретации статистических характеристик гранулометрии кварца при смене термодинамических условий существования минералов обсуждалась при исследовании Селигдарского и Ошурковского месторождений апатита [17,18]. Характер распределений размерности зерен в этих работах интерпретировался в зависимости от формы распределений: сильно асимметричные с правосторонней асимметричностью - первичные, возникшие при начальной кристаллизации зерна; симметричные и левоасимметричные - вторичные, возникшие за счет перекристаллизационного укрупнения минеральных индивидуумов при смене тер-

модинамических условий существования минералов. С этих позиций увеличение размерности части зерен кварца от плагиигранитов и лейкократовых гранито-гнейсов раннеалданского комплекса к позднеалданским субщелочным гранитам должно рассматриваться как последовательное накопление действий отдельных стадий метаморфизма в процессе развития тектоно-метаморфического цикла.

Трансформация размерности зерен кварца от сильно асимметричных с правой асимметрией до сильно асимметричных с левой асимметрией является типоморфным признаком кварца гранито-гнейсовых комплексов.

Распределения размеров зерен кварца унгринских гранитоидов не несут следов подобной пере-

Средние значения параметров элементарной ячейки кварца (числитель) и стандартные отклонения (знаменатель) из гранитоидов докембрийских комплексов Алдана

Порода	n	Параметры ячейки (Å)		
		c	a	V
<b>Раннеалданский комплекс</b>				
Плагиогранито-гнейсы	2	<u>5,404823</u> -	<u>4,913243</u> -	<u>112,9923</u> -
Лейкократовые гранито-гнейсы	5	<u>5,404542</u> 0,000177	<u>4,913209</u> 0,000264	<u>112,9848</u> 0,0097
Субщелочные лейкократовые гранито-гнейсы	9	<u>5,404434</u> 0,000170	<u>4,913298</u> 0,000115	<u>112,9866</u> 0,0067
Субщелочные гранито-гнейсы	12	<u>5,404510</u> 0,000203	<u>4,913211</u> 0,000218	<u>112,9842</u> 0,0090
<b>Позднеалданский комплекс</b>				
Граниты	2	<u>5,404627</u> -	<u>4,913070</u> -	<u>112,9802</u> -
Жильные тела нормальных и субщелочных гранитов	5	<u>5,404525</u> 0,000131	<u>4,913229</u> 0,000108	<u>112,9854</u> 0,0064
Субщелочные автохтонные граниты	15	<u>5,404399</u> 0,000244	<u>4,913267</u> 0,000195	<u>112,9845</u> 0,0075
Зона порфиробластической дифференциации	4	<u>5,404274</u> 0,000243	<u>4,913275</u> 0,000206	<u>112,9831</u> 0,0137
<b>Унгринский комплекс</b>				
Субщелочной лейкократовый гранито-гнейс	1	<u>5,404513</u> -	<u>4,913175</u> -	<u>112,9826</u> -
Субщелочные автохтонные граниты	8	<u>5,404487</u> 0,000250	<u>4,913167</u> 0,000202	<u>112,9817</u> 0,0092
Зона порфиробластической дифференциации	1	<u>5,404626</u> -	<u>4,913070</u> -	<u>112,9802</u> -

Примечание: n – число анализов.

кристаллизации, и сопоставимы с кварцами раннеалданского комплекса.

### Параметры элементарной ячейки кварца

Результаты определения параметров элементарной ячейки кварца исследованных гранитоидов приведены в таблице 4.

Рассмотрение изменения средних значений параметров "c" и "a" в пределах 4-х - 6-х знаков после запятой (в таблице 4 эти знаки выделены курсивом) позволяет заключить, что в исследуемых комплексах проявлены тенденции уменьшения средних значений параметра "c" по мере возрастания щелочности гранитоидов или от начальных к конечным стадиям тектоно-метаморфического цикла.

Последовательность средних значений параметра "c" позднеалданского комплекса смещена относительно раннеалданского в сторону меньших значений. Примечательно, что кварцы субщелочных и дифференцированных гранитоидов характеризуются минимальными средними значениями параметра "c". В целом кварцы гранитоидов позднеал-

данского комплекса отличаются меньшими средними значениями параметра "c" по сравнению с раннеалданскими кварцами. Значимость этого различия исследована с использованием одностороннего критерия Стьюдента, поскольку уменьшение значений параметра "c" имеет устойчивый характер, и гипотеза о знаке различия комплексов может быть принята априорно. В этом случае различие между средними значениями "c" кварца сравниваемых комплексов следует признать значимым с вероятностью ошибиться в этом решении в пределах 5 % [19, стр.135]. Таким образом, с вероятностью в 95 % среднее значение параметра "c" кварцев позднеалданского комплекса меньше такового для кварцев раннеалданского комплекса.

По среднему значению параметра "c" кварцы унгринских гранитоидов сопоставимы с кварцами раннеалданского комплекса.

### Элементы примеси в кварце

Как видно из таблицы 5, групповые средние содержания элементов примесей весьма близки. С

Логарифмы средних содержаний (числитель) и стандартные отклонения (знаменатель) элементов-примесей в кварцах гранитоидов докембрийских комплексов Алдана

Порода	N	lgAl	lgMn	lgTi	lgMg	LgFe	lgCa	lgNa	lgCu	lgAg	LgV
Раннеалданский комплекс											
Плагногранито-гнейсы	2	<u>1,31</u> -	<u>0,54</u> -	<u>1,10</u> -	<u>1,66</u> -	<u>2,15</u> -	<u>1,68</u> -	<u>1,61</u> -	<u>-0,22</u> -	<u>-2,35</u> -	<u>-0,57</u> -
Лейкократовые гранито-гнейсы	5	<u>1,24</u> 0,05	<u>0,37</u> 0,06	<u>1,00</u> 0,05	<u>1,49</u> 0,07	<u>1,96</u> 0,11	<u>1,37</u> 0,07	<u>2,10</u> 0,09	<u>-0,44</u> 0,17	<u>-2,75</u> 0,17	<u>-0,34</u> 0,05
Субщелочные лейкократовые гранито-гнейсы	9	<u>1,22</u> 0,08	<u>0,36</u> 0,08	<u>0,99</u> 0,10	<u>1,58</u> 0,09	<u>2,15</u> 0,29	<u>1,27</u> 0,14	<u>2,05</u> 0,08	<u>-0,41</u> 0,14	<u>-2,67</u> 0,21	<u>-0,32</u> 0,75
Субщелочные гранито-гнейсы	12	<u>1,27</u> 0,12	<u>0,48</u> 0,12	<u>1,09</u> 0,14	<u>1,61</u> 0,10	<u>2,09</u> 0,09	<u>1,38</u> 0,17	<u>2,05</u> 0,13	<u>-0,35</u> 0,15	<u>-2,55</u> 0,28	<u>-0,76</u> 0,75
Позднеалданский комплекс											
Граниты	2	<u>1,21</u> -	<u>0,36</u> -	<u>1,10</u> -	<u>1,51</u> -	<u>2,02</u> -	<u>1,23</u> -	<u>2,17</u> -	<u>-0,33</u> -	<u>-2,52</u> -	<u>-0,20</u> -
Жильные тела нормальных и субщелочных гранитов	5	<u>1,29</u> 0,09	<u>0,47</u> 0,07	<u>1,03</u> 0,12	<u>1,55</u> 0,08	<u>2,13</u> 0,22	<u>1,29</u> 0,12	<u>2,04</u> 0,13	<u>-0,34</u> 0,17	<u>-2,56</u> 0,12	<u>-0,64</u> 0,44
Субщелочные автохтонные граниты	15	<u>1,26</u> 0,07	<u>0,46</u> 0,08	<u>0,10</u> 0,06	<u>1,54</u> 0,09	<u>2,08</u> 0,07	<u>1,36</u> 0,13	<u>2,04</u> 0,11	<u>-0,39</u> 0,13	<u>-2,52</u> 0,18	<u>-0,38</u> 0,49
Зона порфиرو-бластической дифференциации	4	<u>1,29</u> 0,03	<u>0,41</u> 0,03	<u>1,07</u> 0,07	<u>1,62</u> 0,08	<u>2,03</u> 0,05	<u>1,23</u> 0,09	<u>2,08</u> 0,12	<u>-0,43</u> 0,12	<u>-2,43</u> 0,06	<u>-0,71</u> 0,22
Унгринский комплекс											
Субщелочной лейкократовый гранито-гнейс	1	<u>1,34</u> -	<u>0,30</u> -	<u>1,04</u> -	<u>1,46</u> -	<u>1,96</u> -	<u>1,94</u> -	<u>1,99</u> -	<u>-0,43</u> -	<u>-2,70</u> -	<u>-0,38</u> -
Субщелочные автохтонные граниты	8	<u>1,22</u> 0,05	<u>0,38</u> 0,06	<u>0,99</u> 0,08	<u>0,46</u> 0,07	<u>2,07</u> 0,07	<u>1,58</u> 0,14	<u>1,77</u> 0,28	<u>-0,54</u> 0,11	<u>-2,51</u> 0,29	<u>-0,35</u> 0,07
Зона порфиرو-бластической дифференциации	1	<u>1,08</u> -	<u>0,34</u> -	<u>0,71</u> -	<u>1,26</u> -	<u>1,87</u> -	<u>1,23</u> -	<u>1,80</u> -	<u>-0,64</u> -	<u>-2,77</u> -	<u>-0,48</u> -

Примечание: n – число анализов.

весомой долей относительности намечаются следующие тенденции изменения групповых содержаний:

- обогащение кварцев плагногранитов Al, Mn, Mg, Ca, Cu и Ag;

- обеднение кварцев лейкократовых гранито-гнейсов Al и Ti по сравнению с кварцами из субщелочных разновидностей ранне- и позднеалданских гранитоидов;

- последовательное увеличение содержаний Mg, Cu и Ag в кварцах гранитоидов раннеалданского комплекса;

- близость по содержаниям Al и Ti кварцев унгринских гранитоидов к лейкократовым гранито-гнейсам раннеалданского комплекса.

### О сопряженности групповых значений признаков

Сопряженность в изменении химизма пород, структурных и химических особенностей кварца может быть связана с последовательным преобразованием гнейсов и гранито-гнейсов при регрессивном изменении термодинамических параметров на завершающих стадиях тектоно-метаморфического цикла. На характер межгрупповых корреляций, вероятно, оказывает влияние способ формирования дискретных групп.

В изученном случае различаются два варианта их формирования:

Средние размеры параметров решетки и размеров зерен кварца  
(структурная кластеризация)

Группы	N	Параметры решетки (Å)			n	Размер зерен (d, мм)
		c	a	V		
1	1	<u>5,403906</u> -	<u>4,913597</u> -	<u>112,09893</u> -	1	<u>487</u> -
2	1	<u>5,404028</u> -	<u>4,912947</u> -	<u>112,9620</u> -	1	<u>1,19</u> -
3	3	<u>5,404069</u> 0,000050	<u>4,913322</u> 0,000058	<u>112,9813</u> 0,0023	2	<u>2,78</u> -
4	7	<u>5,404338</u> 0,000063	<u>4,913153</u> 0,000069	<u>112,9779</u> 0,0040	6	<u>2,26</u> 0,54
5	13	<u>5,404338</u> 0,000088	<u>4,913397</u> 0,000050	<u>112,9892</u> 0,0034	9	<u>1,73</u> 0,64
6	8	<u>5,404517</u> 0,000030	<u>4,913136</u> 0,000059	<u>112,9809</u> 0,0031	7	<u>1,99</u> 0,69
7	10	<u>5,404568</u> 0,000056	<u>4,913401</u> 0,000090	<u>112,9942</u> 0,0048	5	<u>2,00</u> 1,10
8	1	<u>5,404709</u> -	<u>4,913200</u> -	<u>112,9879</u> -	1	<u>4,38</u> -
9	7	<u>5,404801</u> 0,000046	<u>4,912977</u> 0,000094	<u>112,9795</u> 0,0050	3	<u>2,61</u> 0,70
10	2	<u>5,404857</u> -	<u>4,913294</u> -	<u>112,9953</u> -	2	<u>1,70</u> -

Примечание: числитель – среднее значение, знаменатель – стандартное отклонение.

1-й - петрохимический. Все группы сформированы согласно эволюции вещественного состава в тектоно-метаморфическом цикле;

2-й - структурный. Дискретные группы сформированы на основании особенностей эмпирических распределений параметров элементарной ячейки кварца.

Полимодальность этих распределений дает возможность с использованием кластерного анализа выделить ряд дискретных групп значений параметров элементарной ячейки (табл.6). Всего выделено 10 таких групп (табл.7), против 8 групп, выделенных в алданском тектоно-метаморфическом цикле по петрохимическим признакам.

Рассмотрим корреляционные взаимоотношения групповых средних значений одних признаков с другими.

Средние размеры зерен кварца - содержание породообразующих оксидов. В варианте петрохимической группировки обнаружены методом ранговой корреляции значимые связи между средним размером зерен (Xd) и средними содержаниями TiO<sub>2</sub> и MnO в породах. Коэффициенты ранговой корреляции Спирмэна при  $r_{S,0.05} = 0,60$  равны  $r_{S TiO_2 \cdot \bar{X}_d} = -0,90$  и  $r_{S MnO \cdot \bar{X}_d} = -0,59$  соответственно.

В варианте структурной группировки найденные связи подтверждены ( $r_{S TiO_2 \cdot \bar{X}_d} = -0,64$  и  $r_{S MnO \cdot \bar{X}_d} = -0,76$ ) и, кроме того установлены новые, такие как  $r_{Na_2O \cdot \bar{X}_d} = 0,54$ ;  $r_{MgO \cdot \bar{X}_d} = -0,54$  и  $r_{Fe_2O_3 \cdot \bar{X}_d} = -0,56$ . Последние три коэффициента корреляции значимы с учетом одностороннего уровня значимости с  $\alpha = 0,05$  [19, табл.113].

Средние размеры зерен кварца - параметры элементарной ячейки. Изменение параметров элементарной ячейки кварца в связи с изменением  $\bar{X}_d$  установлено для петрохимического варианта группировки данных. Коэффициент корреляции  $r_{X_d \cdot a} = -0,58$ . Связь может считаться значимой при одностороннем критерии значимости с  $\alpha = 0,05$ .

В обоих вариантах группировки значимые корреляционные связи содержаний элементов-примесей с  $\bar{X}_d$  не установлены.

Средние содержания элементов-примесей в кварце - средние содержания породообразующих оксидов. Значительный интерес представляет характер соотношений содержаний одноименных элементов в образцах пород и в кварце из этих образцов. Наиболее актуальна проверка гипотезы, согласно которой элементы-примеси в кварце попали в кварц совместно с микровключениями полевых шпатов и других минералов гранитоидов, несмотря на всю



Средние содержания в г/т (числитель) и стандартные отклонения (знаменатель) элементов-примесей в кварце (структурная кластеризация)

Группа	n	Al	Mn	Ti	Mg	Fe	Ca	Na	Cu	Ag	V	U
1	1	<u>19,0</u> -	<u>3,00</u> -	<u>12,0</u> -	<u>30,0</u> -	<u>110,0</u> -	<u>28,00</u> -	<u>110,0</u> -	<u>0,39</u> -	<u>0,0025</u> -	<u>0,79</u> -	<u>0,00</u> -
2	1	<u>18,0</u> -	<u>2,60</u> -	<u>13,0</u> -	<u>34,0</u> -	<u>96,0</u> -	<u>15,00</u> -	<u>98,00</u> -	<u>0,34</u> -	<u>0,0056</u> -	<u>0,54</u> -	<u>0,10</u> -
3	3	<u>17,0</u> 1,63	<u>2,63</u> 0,63	<u>9,87</u> 2,61	<u>42,3</u> 7,13	<u>363,3</u> 358,3	<u>20,33</u> 1,89	<u>111,0</u> 15,12	<u>0,33</u> 0,02	<u>0,0024</u> 0,0007	<u>0,18</u> 0,17	<u>0,17</u> 0,09
4	7	<u>16,7</u> 3,01	<u>2,50</u> 0,50	<u>11,6</u> 3,02	<u>35,1</u> 4,85	<u>121,0</u> 30,73	<u>21,57</u> 6,00	<u>119,3</u> 37,14	<u>0,45</u> 0,11	<u>0,0032</u> 0,0020	<u>0,41</u> 0,29	<u>0,14</u> 0,07
5	12	<u>8,02</u> 3,75	<u>2,84</u> 0,78	<u>11,1</u> 1,83	<u>41,6</u> 10,6	<u>112,7</u> 22,11	<u>19,92</u> 5,62	<u>124,2</u> 35,56	<u>0,45</u> 0,18	<u>0,0026</u> 0,0009	<u>0,41</u> 0,22	<u>0,12</u> 0,04
6	8	<u>19,4</u> 4,41	<u>2,91</u> 0,50	<u>11,8</u> 2,68	<u>38,1</u> 11,4	<u>121,4</u> 28,16	<u>29,38</u> 9,43	<u>99,00</u> 28,72	<u>0,43</u> 0,14	<u>0,0035</u> 0,0019	<u>0,49</u> 0,17	<u>0,35</u> 0,62
7	10	<u>18,8</u> 3,25	<u>2,60</u> 0,45	<u>12,2</u> 3,03	<u>37,3</u> 7,13	<u>124,0</u> 24,17	<u>21,80</u> 7,86	<u>119,0</u> 23,40	<u>0,38</u> 0,09	<u>0,0027</u> 0,0015	<u>0,51</u> 0,17	<u>0,16</u> 0,05
8	1	<u>20,0</u> -	<u>3,50</u> -	<u>15,0</u> -	<u>39,0</u> -	<u>200,0</u> -	<u>15,00</u> -	<u>130,0</u> -	<u>0,66</u> -	<u>0,0026</u> -	<u>0,89</u> -	<u>0,20</u> -
9	7	<u>19,7</u> 5,80	<u>2,81</u> 0,75	<u>10,7</u> 2,21	<u>34,6</u> 12,1	<u>110,4</u> 29,75	<u>22,43</u> 6,52	<u>122,4</u> 34,26	<u>0,50</u> 0,19	<u>0,0035</u> 0,0023	<u>0,54</u> 0,26	<u>0,11</u> 0,03
10	2	<u>22,5</u> -	<u>4,05</u> -	<u>20,5</u> -	<u>38,0</u> -	<u>163,0</u> -	<u>58,50</u> -	<u>106,5</u> -	<u>0,52</u> -	<u>0,0057</u> -	<u>0,36</u> -	<u>0,55</u> -

тщательность очистки навесок кварца от других минералов. Проверка этой гипотезы для варианта петрохимической группировки корреляционным анализом взаимосвязей одноименных оксидов и элементов на первый взгляд подтверждает ксеногенную гипотезу, так как коэффициенты корреляции  $r_{TiO_2 \cdot lgTi} = 0,77$ ;  $r_{Al_2O_3 \cdot lgAl} = 0,91$ ;  $r_{MgO \cdot lgMg} = 0,87$ ;  $r_{CaO \cdot lgCa} = 0,86$  не противоречат ей. Однако коэффициент  $r_{Na_2O \cdot lgNa} = -0,98$  не укладывается в эту схему. Обратная корреляция не может возникнуть за счет механических примесей. Установленные корреляционные связи описывают особенности распределения элементов между кварцем и породой.

Ксеногенная гипотеза не может быть принята также в силу следующих обстоятельств:

1. Корреляционные связи породообразующих оксидов друг с другом характеризуются некоторой структурой. Особенности этой структуры хорошо видны на корреляционном дендрографе (рис.2а), где породообразующие оксиды образуют два корреляционных ядра: MgO-CaO-Na<sub>2</sub>O-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (полевошпатово-слюдяное) и TiO<sub>2</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (титано-магнетитовое). Резонно предположить, что в случае попадания минералов гранитоидов в кварцевые навески, структура корреляционных взаимосвязей породообразующих элементов в кварце должна была бы сохранить полностью или частично мотивы корреляционных

ядер породообразующих оксидов в гранитоидах. На деле же (рис.2б) в кварце эти корреляционные комплексы отсутствуют, а имеет место корреляционный комплекс элементов, обычно являющихся структурными примесями (Ti-Mn-Al).

2. При структурном варианте формирования групп положительная корреляция породообразующих оксидов с содержаниями элементов-примесей не установлена. Сохранена лишь корреляция Na<sub>2</sub>O<sup>\*</sup>lgNa с коэффициентом  $r = -0,64$ .

Суммируя отмеченные особенности распределения элементов-примесей в кварце можно констатировать, что примеси не являются следствием механических загрязнений и, по-видимому, имеют структурный характер.

Средние значения параметров элементарной ячейки кварца - средние содержания породообразующих оксидов. Изменение параметров элементарной ячейки кварца скоррелировано с изменением средних содержаний породообразующих оксидов.

В варианте группировки по петрохимическим признакам значения параметра "с" сопряжены с изменениями содержаний CaO ( $r=0,60$ ), K<sub>2</sub>O ( $r=-0,60$ ), п.п.п. ( $r=-0,75$ ) и lgU ( $r=-0,62$ ). Значения параметра "а" коррелируется с п.п.п. ( $r=0,97$ ) и lgU ( $r=0,80$ ). Обращает на себя внимание смена знаков корреляционных зависимостей параметров "с" и "а"

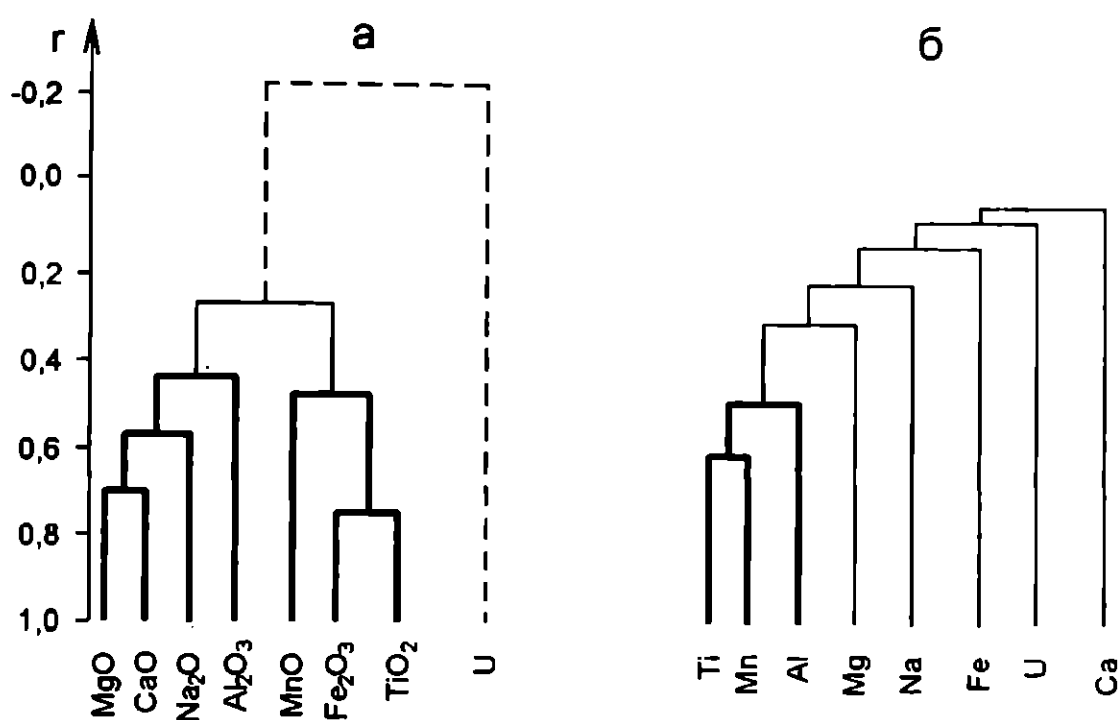


Рис. 2. Корреляционные дендрографы породообразующих элементов гранитоидов (а) и породообразующих элементов в кварце из гранитоидов алданского комплекса (б).

с п.п. Изменение параметра "V" сопряжено с изменением в породах содержаний SiO<sub>2</sub> ( $r=-0,68$ ), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $r=0,65$ ), CaO ( $r=0,76$ ), Na<sub>2</sub>O ( $r=0,94$ ) и K<sub>2</sub>O ( $r=-0,62$ ).

Корреляционные зависимости параметров элементарной ячейки и содержаний породообразующих оксидов в варианте структурной группировки данных существенно не отличаются от вышеприведенных.

Средние значения параметров элементарной ячейки кварца - средние содержания элементов-примесей в кварце. В варианте петрохимической группировки установлена корреляция параметра "с" с Ca ( $r=0,73$ ), Na ( $r=-0,65$ ) и Cu ( $r=0,85$ ). Значения параметра "а" с содержаниями примесей не коррелируются. Параметр "V" коррелируется со средними значениями Al ( $r=0,55$ ), Mn ( $r=0,65$ ), Mg ( $r=0,61$ ), Ca ( $r=0,86$ ), Fe ( $r=0,63$ ), Ni ( $r=0,93$ ) и Cu ( $r=0,56$ ).

Как видно, объем элементарной ячейки кварца связан корреляционными отношениями с 7 из 11 изученных элементов-примесей. Если к этому добавить корреляцию  $Ti \cdot V = 0,68$ , устанавливаемую при структурной группировке данных, то 3/4 всех изученных элементов-примесей обнаруживают сопряженность с параметрами элементарной ячейки.

В целом же отмеченные корреляции отличаются невысокими значениями соответствующих коэффициентов корреляции. Это обстоятельство можно объяснить тем, что за время существования сформированных пород ( $\approx 2$  млрд. лет) под действием естественной радиоактивности значительное количество структурных примесей было переведено из конституционного положения в интерстиционное.

### Выводы

В алданский тектоно-метаморфический цикл сформировалась серия гранитоидов, вещественный

состав которых направленно изменяется в процессе развития рассматриваемого цикла. Наиболее отчетливо этот тренд фиксируется по изменению содержаний кремнекислоты и щелочей.

Изменение термодинамических условий гранитообразования вызвало сопряженное изменение химического состава пород и особенностей слагающего их кварца.

Проведенное исследование позволяет выделить целый ряд типоструктурных и типохимических признаков кварца гранитоидов, формировавшихся на отдельных стадиях развития тектоно-метаморфических циклов граунулитовых областей, которые могут быть использованы при геодинамических реконструкциях и поисках областей сноса при исследовании россыпей.

Задача распознавания в этом случае состоит из двух этапов:

1-й - идентификация тектоно-метаморфического цикла на основании априорных данных или в результате использования приведенной в нашей работе базы данных о химических и структурных особенностях кварца.

2-й - идентификация конкретного типа гранитоидов, считающегося родоначальным для исследуемого кварца.

Для решения задачи 1-го этапа могут быть использованы эмпирические уравнения степенной регрессии [16]. Как следует из таблицы 8, в пределах исследованного цикла химический состав материнских пород с высокой достоверностью может быть предсказан по параметрам "с" и "V" элементарной ячейки кварца, а также по примесям породообразующих элементов в кварце. Параметр "а" в этом отношении не информативен.

Примечательно, что корреляция среднего размера зерен кварца со структурными и химически-

Уравнения регрессии содержания породообразующих оксидов по кристаллохимическим свойствам кварца

№	Функция	Аргумент	$S_y$	$i$	Уравнение
Состав породы – параметр элементарной решетки кварца					
1	MgO	$c$	0,09130	0,91251	$MgO = 1,95086 - 0,00540 c + 0,00001 c^2$
2	CaO	$c$	0,29187	0,86218	$CaO = 3,17138 - 0,01007 c + 0,00001 c^2$
3	Na <sub>2</sub> O	$c$	0,35977	0,88245	$Na_2O = -5,61591 + 0,05936 c - 0,00013 c^2$
4	K <sub>2</sub> O	$c$	0,20764	0,97842	$K_2O = -1,97597 + 0,04197 c - 0,00007 c^2$
5	П.п.п.	$c$	0,06680	0,83652	$П.п.п = -1,51866 + 0,01450 c - 0,00003 c^2$
6	U	$c$	0,01326	0,82654	$U = 0,20067 + 0,00138 c$
Состав породы – объем элементарной ячейки кварца					
7	SiO <sub>2</sub>	$V$	1,08040	0,89964	$SiO_2 = 75,87708 - 0,34775 V + 0,00875 V^2 - 0,00005 V^3$
8	TiO <sub>2</sub>	$V$	0,02671	0,95820	$TiO_2 = 0,44597 + 0,00699 V - 0,00027 V^2$
9	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$V$	0,68001	0,88356	$Al_2O_3 = 12,80736 + 0,21513 V - 0,00501 V^2 + 0,00003 V^3$
10	MgO	$V$	0,11454	0,85770	$MgO = 0,61454 + 0,01794 V - 0,00051 V^2$
11	CaO	$V$	0,19064	0,94367	$CaO = 0,65934 + 0,04813 V - 0,00122 V^2 + 0,00001 V^3$
12	Na <sub>2</sub> O	$V$	0,19198	0,96798	$Na_2O = 2,40843 + 0,04289 V - 0,00078 V^2$
13	K <sub>2</sub> O	$V$	0,33229	0,94374	$K_2O = 4,66248 - 0,01594 V + 0,00093 V^2 - 0,00001 V^3$
Состав породы – содержание примесей в кварце					
14	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	lgAl	0,59448	0,91234	$Al_2O_3 = -28,52034 + 34,35134 \lg Al$
15	CaO	lgCa	0,25160	0,89961	$CaO = 14,90339 - 21,98813 \lg Ca + 8,64136 \lg Ca^2$
16	MgO	lgMg	0,09015	0,91446	$MgO = 74,97623 - 97,55735 \lg Mg + 31,99308 \lg Mg^2$

Примечание: в уравнениях 1 – 6 значения «с» преобразованы по формуле  $c_x = c_i - 5,404$ ; в уравнениях 7 – 13 значения «V» преобразованы по формуле  $V_i = V_i - 112,880$ ; для  $f = 7$  коэффициент корреляции  $R_{x,0,05} = 0,754$ ;  $S_y$  – ошибка индивидуального предсказания;  $i$  – приведенный индекс корреляции.

ми его особенностями не установлена. Это обстоятельство дополнительно увеличивает надежность предсказанной по уравнениям таблицы 8, так как возможное дробление зерен кварца при гипергенной транспортировке не изменит установленных взаимоотношений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гурбанов А.Г., Ляхович Т.Т. Геохимические особенности кварца глубинных частей Эльджуртинского гранитного массива (Северный Кавказ // Докл. РАН. - 1993. -Т. 329, № 2. -С. 221-223.
2. Гурбанов А.Г., Бершов Л.В., Сперанский А.В. и др. Геохимия и ЭПР породообразующего кварца из части Эльджуртинского гранитного массива (Северный Кавказ) // Геохимия. -1994. -№ 8-9. -С. 1239-1254.
3. Ляхович Т.Т. Геохимические особенности кварцев гранитоидов корового и мантийного происхождения // Геохимия. -1991. -№ 2. -С. 288-291.
4. Мануйлова М.М., Данилевич А.М. Структурная примесь алюминия в кварце как показатель условий формирования гранитоидов // -Сов.геология. -1983. -№ 7. -С.77-87.
5. Панов Е.Н. Включения в кварце как генетический и корреляционный признак гранитоидов (на примере пород Северо-Восточного Забайкалья) // Зап. ВМО. - 1973. -Т. 102, № 2. -С.171-181.
6. Котов А.Б., Саморукова Л.М. Эволюция гранитообразования в тектоно- метаморфических циклах раннего докембрия. -Л., 1990. -159 с.
7. Шемякин В.М. Эволюция магматизма раннего докембрия Витимо-Алданского щита. -Л., 1991. -112 с.
8. Лазько Е.М. Геологическое строение западной части Алданского кристаллического массива. -Львов, 1956. -С. 76-87.
9. Дзевановский Ю.К. Архейский метаморфический комплекс Алданского щита // Тр. Междунар.совещ. по разработке унифицир. стратигр. схем Сибири. -М., 1958. -С. 78-81.
10. Судовиков Н.Г. Новые данные по геологии докембрия Алдана // Изв. АН СССР. Сер. геол. -1958. -№ 2. -С. 31-37.
11. Соколов Н.А. Архейские граниты Алданского щита // Материалы по геологии и полезным ископаемым ЯАССР. Вып.18. -Якутск, 1968. -С. 153-166.
12. Кицул В.И., Лазебник К.А. Геология и петрография докембрийских образований района слияния Алдана и Унгры // Геология и петрология докембрия Алданского щита. -М., 1966. -С. 98-112.
13. Реутов Л.М. К вопросу о стратиграфии иенгской серии Алданского щита // Материалы по геологии и полезным ископаемым ЯАССР. Вып.18. -Якутск, 1968. -С. 56-63.
14. Кицул В.И., Зедгенизов А.Н., Лазебник К.А. Стратиграфическое расчленение и корреляция метаморфических толщ верхнеалданской свиты иенгской серии Алданского щита // Геология и петрология докембрия Алданского щита. -М., 1966. -С. 85-97.
15. Классификация методов анализа минерального сырья (Методические указания НСАМ. № 11). -М., 1975. -145 с.
16. Хлестов В.В., Лепезин Г.Г. Проблема регрессивного метаморфизма и сохранность высокотемпературных минеральных ассоциаций // Термодинамический режим метаморфизма. -Л., 1974. -С.146.
17. Василенко В.Б., Холодова Л.Д., Блинчик Г.М. Математическая статистика. Проблемы, алгоритмы, программы. -Новосибирск, 1982. -156 с.
18. Кузнецова Л.Г., Василенко В.Б., Холодова Л.Д. Особенности состава породообразующих минералов Ошурковского массива // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. -Новосибирск, 1995. -С.81-97.
19. Закс Л. Статистическое оценивание. -М., 1976. -693 с.