

УДК 549.643.12 (571.65)

## ГРАНАТОВЫЕ МЕТАУЛЬТРАМАФИТЫ И ГРАНАТОВЫЕ ЖЕДРИТИТЫ ОМОЛОНСКОГО МИКРОКОНТИНЕНТА: ГЛУБИННЫЙ ДИАФТОРЕЗ И ЕГО ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ (СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

<sup>1</sup>Жуланова И.Л., <sup>2</sup>Авченко О.В., <sup>2</sup>Шарова О.И.

<sup>1</sup>ФГБУН «Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт  
им. Н.А. Шило» ДВО РАН, Магадан, e-mail: metamor@neisri.ru;

<sup>2</sup>ФГБУН «Дальневосточный геологический институт» ДВО РАН, Владивосток,  
e-mail: sirenevka@mail.ru

Остро дискуссионные вопросы раннедокембрийской геологии Северо-Востока Азии обсуждаются на новом петрологическом материале, полученном для гранатовых метасульфидов поварнинского комплекса, вскрытого в Ауландинском чарнокитоидном куполе (фундамент Омолонского микроконтинента). По данным минеральной термобарометрии, гранатовые метасульфиды формировались в условиях гранулитовой фации высокого давления ( $T = 950\text{--}900^\circ\text{C}$ ,  $P = 1,05\text{--}0,95$  ГПа) и несут уникальные петрографические признаки полиметаморфизма, протекавшего в глубинных условиях. Впервые выполненный количественный расчет P-T параметров ретроградной жедрит-ортопироксен-плагноклазовой ассоциации апосульфидовых гранатовых жедрититов показал, что она отвечает амфиболитовой фации и фиксирует этап декомпрессии, сопровождавшейся значительным понижением температуры ( $T = 700\text{--}650^\circ\text{C}$ ,  $P = 0,65\text{--}0,55$  ГПа). Рассмотрение аналитических данных в широком геолого-тектоническом контексте позволило заключить, что одновременные минеральные ассоциации, наблюдаемые в гранатовых метасульфидовых гранатах, отражают два главных этапа формирования континентальной коры Омолонского микроконтинента.

**Ключевые слова:** архей, гранулиты, метасульфиды, жедрит, Омолон, Северо-Восток России

## THE GARNET ULTRAMAFICS AND GARNET GEDRITITES OF THE OMOLON MICROCONTINENT: DEEP DIAPHTHORESIS WITH GEOLOGIC AND TECTONIC INTERPRETATION

<sup>1</sup>Zhulanova I.L., <sup>2</sup>Avchenko O.V., <sup>2</sup>Sharova O.I.

<sup>1</sup>North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n.a. N.A. Shilo, Far East Branch,  
Russian Academy Science, Magadan, e-mail: metamor@neisri.ru;

<sup>2</sup>Far East Geological Institute, Far East Branch, Russian Academy Science, Vladivostok,  
e-mail: sirenevka@mail.ru

The most contentious issues of the Early Precambrian geology of Northeast Asia are discussed using new petrological data on garnet metaultramafic rocks of Povarninsky complex from Aulanzha charnokitoid dome (basement of Omolon microcontinent, North-East Russia). Mineral thermobarometry suggests that garnet metaultramafic rocks have been formed under high pressure granulite facies ( $T = 950\text{--}900^\circ\text{C}$ ,  $P = 1,05\text{--}0,95$  GPa). They bear unique petrographic evidence of polymetamorphic events occurred in the deep crust. A quantitative assessment of the thermodynamic conditions for gedrite-orthopyroxene-plagioclase retrograde assemblages in garnet metaultramafic rocks suggests that it formed in amphibolite facies during the decompression, accompanied by a significant decrease in temperature ( $T = 700\text{--}650^\circ\text{C}$ ,  $P = 0,65\text{--}0,55$  GPa). Consideration of these data in a broad geological context led to the conclusion that uneven mineral associations of garnet metaultramafic rocks reflect two major stage of the formation of continental crust of Omolon Microcontinent.

**Keywords:** Archean, granulites, metaultramafic rocks, gedrite, Omolon, Northeastern Russia

Жедрит – характерный минерал фанерозойских гранитно-метаморфических куполов севера Тихоокеанского кольца, где он рассматривается как индикатор повышения давления в недрах куполов на стадии внедрения гранитных расплавов [4]. В докембрийских комплексах Северо-Востока Азии известна единственная находка. Она происходит из кристаллических образований Ауландинского выступа (горста) дорифейского фундамента Омолонского массива (ОМ) [6], в современных работах фигурирующего как микроконтинент. Проведённые исследования показали, что здесь появление жедрита от-

ражает регрессивный этап эволюции глубинных метаморфических пород. В статье приводятся результаты первой количественной оценки термодинамических условий образования жедрит-ортопироксен-плагноклазовых реакционных структур в гранатовых метасульфидовых гранатах<sup>1</sup> – петротипе поварнинского комплекса (нижнее подразделение последней официальной

<sup>1</sup> В литературе впервые описаны как эклогитовые сланцы – продукт регрессивного изменения амфиболитовых эклогитов [3]. Типоморфный состав: гранат, клинопироксен, роговая обманка примерно в равных соотношениях с примесью (0–10%) гиперстена и плагноклаза; сложение преимущественно среднезернистое.

стратиграфической схемы нижнего архея Верхояно-Чукотского региона, 2003 г.). Полученные данные существенно конкретизируют представления о ранних этапах формирования континентальной коры на Северо-Востоке Азии.

### Материалы и методика исследований

В границах Ауланджинского горста (около 350 км<sup>2</sup>) реконструируется фрагмент (западная половина) купола, ядро которого слагают чарнокитоиды. В качестве реликтов субстрата повсеместно наблюдаются амфибол-двупироксеновые, иногда с гранатом, кристаллосланцы, изредка – лейкократовые гранулиты. На крыле вскрыт стратифицированный разрез, где преобладают богатые кальцием мезократовые гнейсы и амфиболиты, чередующиеся с глинозёмистыми толщами. Гранатовые метальтрамафиты слагают линзовидные тела мощностью от 5 до 50 м внутри широкой (4–5 км) полосы биотитовых гранито-гнейсов, залечающих зону скрытого несогласия

между ядром и крылом купола. Цепочки меланократовых тел конформно вписываются в общую купольную структуру блока (рис. 1). Интерпретируются как фрагменты подошвы чарнокитоидной антиформы [7]. Возраст аксессуарного циркона из гранито-гнейсов составляет 3,65–3,4 млрд лет (ранний архей российской шкалы докембрия) [2].

Жедрит встречается в линзовидном теле (8×20 м) метальтрамафитов, отличающихся крупно- и гигантозернистым сложением, текстурной неоднородностью, отсутствием кристаллизационной сланцеватости. На фоне роговой обманки, образующей агрегаты черных, ярко блестящих разноориентированных кристаллов, контрастно выделяется темно-красный гранат (2–80 мм). В строении тела улавливаются элементы полосчатости. Она подчеркивается присутствием небольших (до 50 см в длину) полиминеральных линз, в одной из которых и встречены структурно более или менее однородные среднезернистые обособления (поперечник до 7, длина до 10 см), зеленовато-серой окраски, описываемые ниже как гранатовые жедрититы.

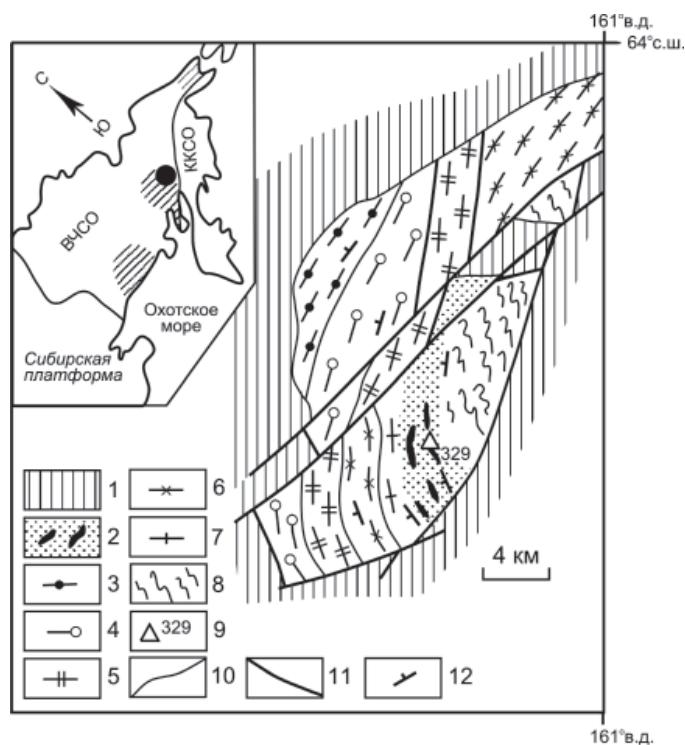


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Ауланджинского выступа фундамента Омолонского массива. Составила И.Л. Жуланова:

- 1 – рифейские и палеозойские осадочные отложения; 2–8 – нижний архей: 2 – биотитовые гранито-гнейсы с линзами гранатовых метальтрамафитов, 3 – гранат-биотитовые плагиогнейсы, биотит-гиперстеновые сланцы, 4 – диопсидовые плагиогнейсы, двупироксен-амфиболовые сланцы, гранат-биотитовые гнейсы, 5 – амфиболиты, диопсид-амфиболовые сланцы, 6 – преимущественно гранат-биотитовые гнейсы, иногда кордиеритсодержащие, 7 – диопсидовые амфиболиты, двупироксен-амфиболовые, гранат-диопсид-амфиболовые сланцы, 8 – чарнокитоиды, амфибол-двупироксеновые сланцы, лейкократовые гранулиты; 9 – местонахождение гранатовых жедрититов и номер точки наблюдения; 10 – геологические границы; 11 – разломы; 12 – элементы залегания полосчатости метаморфических пород. На врезке: заштриховано – районы распространения выходов дорифейских метаморфических образований (с юго-запада на северо-восток: Охотский, Омолон-Тайгоносский, Восточно-Чукотский). ВЧСО – Верхояно-Чукотская мезозойская складчатая область. ККСО – Корякско-Камчатская кайнозойская складчатая область. Черный кружок – местоположение Ауланджинского выступа

Детально изучена порода (обр. 329а, кол. И.Л. Жулановой) с различными невооруженным глазом реакционными оторочками (1–5 мм) вокруг порфиробластов (10–15 мм) граната. Их образует симплектит ортопироксена, плагиоклаза и жедрита со средней величиной индивидов  $0,05 \times 1$  мм (рис. 2). На удалении те же минералы – относительно крупные

(2–5 мм), срastaющиеся в мономинеральные гранобластовые агрегаты. До 3% объема породы составляет биотит, распределённый крайне неравномерно.

Состав пород и минералов изучался в Аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. Химический анализ минералов выполнен на четырехканальном микроанализаторе JXA 8100.

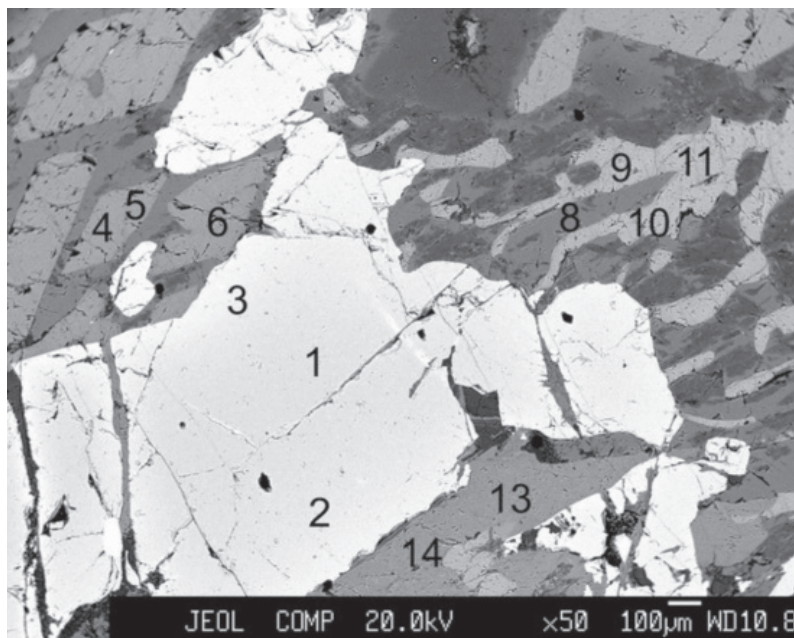


Рис. 2. Реакционная кайма жедрита, ортопироксена и плагиоклаза вокруг граната (белое). Цифры – номера анализов (см. табл. 2). Хорошо видны червеобразные срastания ортопироксена (9–11) с небольшими вытянутыми зернами плагиоклаза (8) и ромбовидные сечения жедрита (4–6, 13, 14 и слева вверху). Вверху по центру – таблитчатое зерно плагиоклаза со светлой краевой зоной более основного состава, сравнительно с темным центром. Обр. 329а. Микрофотография в отраженных электронах

Оценка содержаний главных компонентов в породе производилась методом атомно-эмиссионной спектроскопии индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на спектрометре ICAP 6500 Duo. Определение содержаний  $H_2O$ , п.п.п.,  $SiO_2$  произведено методом гравиметрии, редкоземельных и примесных элементов – методом ICP-MS на приборе Agilent 7500. Погрешность определения для большинства элементов составила 5–15%, для Hf, Ta, Pb – 20–25%. Ответственный исполнитель Зарубина Н.В.

### Результаты исследований и их обсуждение

На диаграмме TAS [10] фигуративная точка гранатового жедритита попадает на сочленение четырех полей (ультраосновные – основные пикробазальты, умеренно щелочные базальты – трахибазальты). По сравнению с типоморфным метасульфидом (обр. А339) гранатовый жедритит обогащен кремнеземом, калием, рубидием, барием, цирконием и гафнием (табл. 1, рис. 3).

Установлена химическая зональность минералов, наиболее резкая у плагиокла-

за. Его мелкие выделения из реакционных кайм содержат до 87% анортита (табл. 2, ан. 8<sup>2</sup>), зерна на удалении имеют обратную зональность: содержание анортита в центре – 55–59, по периферии – до 81% (табл. 2, ан. 21, 12 и 26 соответственно). Гранат обладает повышенной магнезиальностью, при этом от центра к краям повышается его железистость и марганцовистость; содержание гроссуляра меняется незначительно (табл. 2). Ортопироксен из кайм имеет заметно более высокое содержание глинозема, чем в собственно породе (табл. 2, анализы 9, 28); железистость почти не меняется.

Состав жедрита и биотита практически постоянный. Жедрит относится к группе натровых, которые, согласно [12], должны иметь количество  $Na^A \text{ ф.е.} \geq 0,5$  при  $Mg/(Mg + Fe^{+2}) \geq 0,50$ . В наших анализах эти параметры составляют  $\geq 0,6$

<sup>2</sup> В табл. 2 и далее по тексту символы минералов: Gr – гранат, Орх – ортопироксен, Pl – плагиоклаз, Ged – жедрит, Bi – биотит.

и  $\geq 0,7$  соответственно (табл. 2). Кроме того, для омонских жедритов характерна невысокая степень окисленности железа

( $\text{Fe}^{+3}$  ф.е. = 0,17–0,3, табл. 2). Биотит имеет повышенную магниальность ( $X_{\text{Fe}}^{\text{Bi}} = 0,22\text{--}0,21$ ).

Таблица 1

Результаты определения петрогенных (мас. %) и малых элементов (г/т) в образцах 329а (верхняя строка) и А339 (нижняя строка)

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	п.п.п.	Сумма	H <sub>2</sub> O-
44,7	1,09	18,37	2,87	10,25	0,22	14,21	5,32	1,20	1,51	0,04	0,70	100,49	0,16
43,45	0,94	15,57	4,49	11,00	0,26	10,35	12,59	1,21	0,29	0,06	0,26	100,48	н.об.

Окончание табл. 1

Rb	Zr	Ba	Hf
43,24	567,50	315,50	12,73
1,47	23,03	29,09	0,72

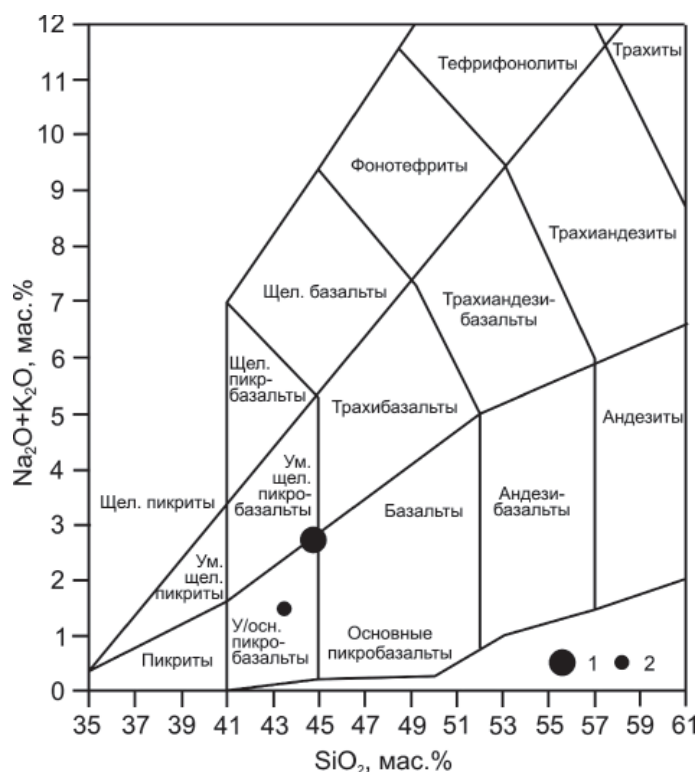


Рис. 3. Положение фигуративных точек метасульфидов на диаграмме TAS [10]: 1 – гранатовый жедритит (обр. 329а); 2 – среднезернистый гранатовый метасульфид (обр. А339). Анализы пород см. в табл. 1

Установленные особенности позволяют выделить в изученной породе две генерации минералов: раннюю (магнезиальный гранат, плагиоклаз пониженной основности, ортопироксен с пониженной глиноземистостью) и позднюю (гранат повышенной железистости и замещающие его относительно более основной плагиоклаз, глиноземистый ортопироксен, жедрит). Присутствие в обоих граната, плагиоклаза и ортопироксена дает возможность коррек-

тно сопоставить Р-Т условия их образования по экспериментальным термобарометрам [5, 8]. Для расчета выбраны (№ № анализов по табл. 2): в качестве ранних – 1 (Gr), 28 (Orx), 21 (Pl), поздних – 3 (Gr), 9 (Orx), 8 (Pl). На Р-Т диаграмме точки пересечения линий, рассчитанных по уравнениям указанных геотермобарометров, дают параметры: для ранней генерации 900–950 °С при 0,95–1,05 ГПа, для поздней – 650–700 °С при 0,55–0,65 ГПа (рис. 4).

Таблица 2

Микрозондовые анализы и кристаллохимические формулы минералов из реакционной оторочки обр. 329а.

Минерал Компонент	Gr	Gr	Gr	Ged	Ged	Ged	Orx	Orx	Orx	Orx	Pl	Pl	Pl	Pl	Bi	Bi
	1	2	3	4	6	13	9	10	28	33	8	26	12	21	39	40
SiO <sub>2</sub>	39,36	39,67	38,96	41,82	42,23	42,14	50,28	50,56	51,00	50,81	45,03	46,89	54,55	53,36	37,36	37,32
TiO <sub>2</sub>	0,0	0,0	0,0	0,71	0,63	0,40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,61	3,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,16	21,94	22,16	18,13	18,73	18,96	6,36	6,30	5,01	5,23	34,18	33,28	27,41	28,88	16,57	16,29
FeO	21,16	22,98	23,04	14,39	14,01	13,33	17,68	17,26	18,22	18,20	0,0	0,37	0,0	0,0	9,21	9,60
MnO	0,62	0,95	0,94	0,30	0,30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MgO	13,98	13,06	12,17	19,38	19,35	20,22	25,31	25,83	25,60	25,78	0,0	0,0	0,0	0,0	19,05	18,58
CaO	3,18	2,60	3,02	0,62	0,64	0,60	0,0	0,0	0,0	0,0	18,33	16,79	10,4	11,55	0,0	0,0
Na <sub>2</sub> O	0,0	0,0	0,0	2,29	2,41	2,33	0,0	0,0	0,0	0,0	1,40	2,12	6,04	5,17	0,77	0,57
K <sub>2</sub> O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,26	9,13
Сумма	100,46	101,20	100,20	97,64	98,30	97,98	99,63	99,95	99,83	100,02	98,94	99,45	98,40	98,96	96,03	95,47
Si	2,917	2,944	2,926	5,942	5,960	5,923	1,823	1,823	1,849	1,837	2,101	2,167	2,500	2,437	2,700	2,715
Al <sub>общ</sub>	1,936	1,919	1,961	3,036	3,116	3,141	0,272	0,268	0,214	0,223	1,879	1,813	1,481	1,555	1,411	1,397
Fe <sup>+2</sup>	1,081	1,233	1,261	1,413	1,483	1,273	0,455	0,435	0,465	0,448	0,0	0,0	0,0	0,0	0,557	0,584
Fe <sup>+3</sup>	0,166	0,113	0,148	0,297	0,171	0,294	0,081	0,086	0,087	0,103	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mn	0,039	0,060	0,060	0,036	0,036	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mg	1,545	1,445	1,363	4,105	4,071	4,237	1,368	1,389	1,384	1,390	0,0	0,0	0,0	0,0	2,053	2,015
Ca	0,253	0,207	0,243	0,094	0,097	0,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,920	0,832	0,511	0,565	0,0	0,0
Na	0,0	0,0	0,0	0,631	0,659	0,635	0,0	0,0	0,0	0,0	0,130	0,190	0,537	0,458	0,108	0,08
K	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,854	0,847
X <sub>Fe</sub> <sup>Gr</sup>	0,45	0,48	0,51	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
X <sub>An</sub> <sup>Pl</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,87	0,81	0,49	0,55	0,0	0,0
X <sub>Fe</sub> <sup>Orx</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,28	0,27	0,29	0,28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
X <sub>Mg</sub> <sup>Ged</sup>	0,0	0,0	0,0	0,74	0,73	0,77	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Примечание. Кристаллохимические формулы рассчитаны по программе PET [11]. Номера анализов соответствуют номерам точек микрозондирования (положение точек № № 1–3, 4, 6, 8–10, 13 см. на рис. 2).

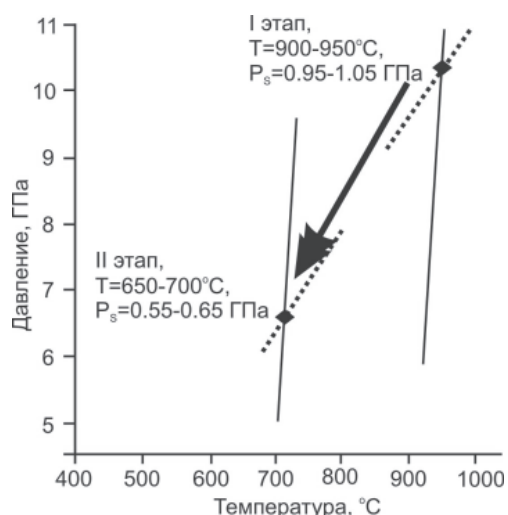


Рис. 4. Точки оценок P-T условий, рассчитанных по экспериментальным термометрам [5, 8]. Стрелка показывает направление P-T тренда от ранней минеральной ассоциации к поздней

**Выводы**

Приведенные результаты свидетельствуют, что перекристаллизация граната с образованием Ged-Orx-Pl реакционных структур явилась следствием декомпрессии, сопровождавшейся значительным понижением температуры, т.е. представляет собой дифторез. Высокое содержание Na в жедрите и повышенные концентрации в образце 329а Rb, Ba, Zr, Hf указывают, что процесс диафтореза метаультрамафитов носил аллохимический характер и протекал, скорее всего, при участии флюида. Рассмотрение этих данных в широком геолого-тектоническом контексте [1, 6, 7, 9] позволяет сделать следующие выводы:

1. Параметры, рассчитанные для ранней минеральной ассоциации: T = 950–900 °C, P = 1,05–0,95 ГПа (гранулитовая фация высокого давления), характеризуют обстановку в наиболее глубокой части нижнеархейского разреза фундамента

ОМ на момент начала его тектонического подъема к эрозионной поверхности (зарождения Ауланджинского чарнокитовидного купола).

2. Относительно более поздняя минеральная ассоциация отвечает амфиболитовой фации повышенного давления ( $T = 700\text{--}650^\circ\text{C}$ ,  $P = 0,65\text{--}0,55$  ГПа), что практически точно соответствует параметрам прогрессивного метаморфизма, установленным в верхах супракрустальной части нижнеархейского разреза фундамента ОМ [6]. Согласно авторской модели, метаморфизм амфиболитовой фации в супраструктуре протекал синхронно с формированием гнейсово-купольных структур второго поколения, порожденных процессом плагиогранитизации гранулитов [6]. Центр ареала плагиогранитизации на ОМ сдвинут относительно Ауланджинского купола примерно на 80 км к юго-западу, и петрографически этот процесс в изученных ультрамафитах не проявлен. Однако именно с ним хорошо согласуются P-T параметры и аллохимический характер диафореза гранатовых ультрамафитов, установленные в результате проведенного исследования.

3. В свете полученных данных тектоническая структура, фрагмент которой вскрыт в Ауланджинском выступе фундамента ОМ, предстает как миниатюрная модель («элементарная ячейка») эоархейской (в терминах Международной стратиграфической шкалы) геодинамической структуры гнейсово-купольного типа, где четко зафиксирован регрессивный переход глубинных (инфракрустальных?) метаультрамафитов в породы амфиболитовой фации. Важно, что термодинамические характеристики, реконструированные для последовательно формировавшихся пород наиболее глубокой (из вскрытой на современном срезе) части фундамента ОМ, аналогичны характеристикам широко известных комплексов фундамента Сибирской платформы – соответственно сутамского и станового [1, 9]. Другими словами, чарнокитизация и плагиогранитизация реконструируются как главные корообразующие процессы в истории формирования ОМ, а два возникших здесь поколения гнейсово-купольных структур находят своих гомологов в кристаллическом цоколе Алдано-Станового щита, что подтверждает на новом уровне гипотезу о том, что корни ныне наблюдаемой геолого-тектонической взаимосвязи Северо-Востока Азии и Сибирского кратона уходят в ранний докембрий [13].

## Список литературы

1. Александров И.А. Метаморфические породы амфиболитовой фации Джугджуро-Становой складчатой области. – Владивосток: Дальнаука, 2010. – 212 с.
2. Бибикова Е.В. Уран-свинцовая геохронология ранних этапов развития древних щитов. – М.: Наука, 1989. – 179 с.
3. Гельман М.Л. Терехов М.И. Новые данные о докембрийском кристаллическом комплексе Омолонского массива // Метаморфические комплексы Востока СССР. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1973. – С. 66–73.
4. Гельман М.Л. Фанерозойские гранитно-метаморфические купола на Северо-Востоке России. Статья 2. Магматизм, метаморфизм и гранитизация в позднемезозойских куполах // Тихоокеан. геология. – 1996. – Т. 15. – № 1. – С. 84–93.
5. Графчиков А.А., Фонарев В.И. Гранат-ортопироксен-плагиоклаз-кварцевый барометр (экспериментальная калибровка) // Очерки физико-химической петрологии. – М.: Наука, 1991. – Вып. 16. – С. 199–225.
6. Жуланова И.Л. Земная кора Северо-Востока Азии в докембрии и фанерозое. – М. Наука, 1990. – 304 с.
7. Котляр И.Н., Жуланова И.Л., Русакова, Гагиева А.М. Изотопные системы магматических и метаморфических комплексов Северо-Востока России. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2001. – 319 с.
8. Лаврентьева И.В., Перчук Л.Л. Экспериментальное изучение фазового соответствия в системе гранат-ортопироксен-амфибол при  $700$  и  $800^\circ\text{C}$  // Очерки физико-химической петрологии. – М.: Наука, 1991. – Вып. 16. – С. 139–164.
9. Маракушев А.А. Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород. – М.: Наука, 1965. – 327 с.
10. Петрографический кодекс России. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. – 200 с.
11. Dachs E. PET: Petrological elementary tools for mathematics // Computers and Geosciences. – 1998. – Vol. 24. – № 3. – P. 219–235.
12. Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names // Eur. J. Mineral. – 1997. – № 9. – P. 623–651.
13. Zhulanova I.L. The tectonic units of the North-East Asia and the Siberian Platform in Early and Late Precambrian: links and events. // Rodinia 2013: Supercontinental Cycles and Geodynamics Symposium / Eds: R. Veselovskiy, N. Lubnina. – Moscow: PERO Press, 2013. – Abstracts. – P. 85.

## References

1. Alexandrov I.A. Metamorphic rocks of amphibolite facies of Dzhugdzhuro-Stanovoy folded area. Vladivostok: Dalnauka, 2010. 212 p.
2. Bibikova E.V. Uran-svintsovaya geokhronologiya rannikh etapov razvitiya drevnikh schitov. M.: Nauka, 1989. 198 p.
3. Gelman M.L. Terekhov M.I. Noveye dannye o dokembriyskom kristallicheskom komplekse Omolonskogo massiva. In: Metamorphic complexes of the East of the USSR. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1973. pp. 66–73.
4. Gelman M.L. Phanerozoic granitoid-metamorphic complexes on the North-East of Russia. Part 2. Magmatism, metamorphism and granitization in Mesozoic cupolas. Tikhookeanskaya geologiya. 1996. T. 15. no 1. pp. 84–93.

5. Grafchikov A.A., Fonarev V.I. Granat-ortopiroksen-plagioklaz-kvartsevyy barometr (eksperimentalnaya kalibrovka) In: Ocherki fiziko-khimicheskoy petrologii. M.: Nauka, 1991. Vyp. 16. pp. 199–225.

6. Zhulanova I.L. Zemnaya kora Severo-Vostoka Azii v dokembrii i fanerozoie. M.: Nauka, 1990. 304 p.

7. Kotljar I.N., Zhulanova I.L., Rusakova T.B., Gagieva A.M. Izotopnye sistemy magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov Severo-Vostoka Rossii. – Magadan: SVKNII DVO RAN, 2001. 319 p.

8. Lavrenteva I.V., Perchuk L.L. Eksperimentalnoe izucheniye fazovogo sootvetstviya v sisteme granat-ortopiroksen-amfibol pri 700 i 800 °C. In: Ocherki fiziko-khimicheskoy petrologii. M.: Nauka, 1991. Vyp. 16. pp. 139–164.

9. Marakushev A.A. Problemy mineralnykh fatsyi metamorficheskikh i metasomaticheskikh gornyykh porod. M.: Nauka, 1965. 327 p.

10. Petrograficheskiy kodeks Rossii. S-Pb.: Izd-vo VSEGEI, 2009. 200 p.

11. Dachs E. PET: Petrological elementary tools for mathematics. Computers and Geosciences. 1998. Vol. 24. no 3. pp. 219–235.

12. Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch, H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C.,

Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. Eur. J. Mineral. 1997. no 9. pp. 623–651.

13. Zhulanova I.L. The tectonic units of the North-East Asia and the Siberian Platform in Early and Late Precambrian: links and events. Rodinia 2013: Supercontinental Cycles and Geodynamics Symposium / Eds: R. Veselovskiy, N. Lubnina. Moscow: PERO Press, 2013. Abstracts. pp. 85.

**Рецензенты:**

Борходоев В.Я., д.т.н., директор Аналитического центра, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило» ДВО РАН, г. Магадан;

Савва Н.Е., д.г.-м.н., главный научный сотрудник лаборатории петрологии, изотопной геохронологии и рудообразования, ФГБУН «Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило» ДВО РАН, г. Магадан.

Работа поступила в редакцию 28.07.2014.