

продолжалось значительно дольше (средний дриас/аллеред — поздний дриас), чем на 13–14-метровой поверхности в разрезе на р. Свирь, где, тем не менее, в конце позднего дриаса сформировались ледяные клинья, вертикальная протяженность которых является едва ли не предельной для эпигенетических трещин.

### Литература

*Данилова Н. С., Баулин В. В.* Следы криогенных процессов и их использование при палеогеографических реконструкциях ландшафтов // Палеокриология в четвертичной стратиграфии и палеогеографии. М.: Наука, 1973. С. 66–79.

*Ершов Э. Д.* Общая геокриология: учебник. М.: МГУ, 2002. 682 с.

*Никонов А. А., Русаков А. В.* Уникальная находка раннеголоценовой погребенной почвы на южном побережье Финского залива: условия нахождения, залегание, возраст // Почвоведение. 2010. № 1. С. 1–12.

*Романовский Н. Н.* Формирование полигонально-жильных структур. Новосибирск: Наука, 1977. 215 с.

*Стрелецкая И. Д.* Клиновидные структуры на южном берегу Финского залива // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI, № 1. С. 3–12.

*Френч Х. М., Демитрофф М., Стрелецкий Д. А., Форман С. Л., Годзик Я., Конищев В. Н., Рогов В. В., Лебедева-Верба М. П.* Проявления позднеплейстоценовой вечной мерзлоты в Пайн-Барренсе на юге штата Нью-Джерси в США // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII, № 3. С. 17–28.

*Dijkmuns J. W. A.* Niveo-aeolian Sedimentation and Resulting Sedimentary Structures; Søndre Strømfjord area, Western Greenland // Department of Geography, University of Utrecht, Heidelberglaan 2, 3584 CS Utrecht, The Netherlands, 1990.

### Сведения об авторе

#### Шухвостов Роман Сергеевич

студент, Санкт-Петербургский государственный университет, r.shux18@gmail.com

#### Shukhvostov Roman Sergeevich

Student, Saint Petersburg State University, r.shux18@gmail.com

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.043

УДК 549.02:552.42(571.61/.62)

#### А. В. Юрченко<sup>1</sup>, О. Л. Галанкина<sup>1</sup>, Ю. Р. Волкова<sup>2</sup>, Е. С. Мальчушкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ОСП «Амургеология» АО «ДВ ПГО», Благовещенск, Россия

### ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА МИНЕРАЛОВ И УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА ГЛИНОЗЕМИСТЫХ ГНЕЙСОВ КУТЫКАНСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЛАРБИНСКОГО БЛОКА СТАНОВОЙ ГРАНИТ- ЗЕЛЕНОКАМЕННОЙ ОБЛАСТИ (ПРИАМУРЬЕ, ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

#### Аннотация

Полученные нами новые сведения (минералого-петрографические, петрохимические, геохимические) о глиноземистых гнейсах кутыканского

метаморфического комплекса Ларбинского блока дополняют ранее полученные данные о гранулитовых параметрах метаморфизма ( $> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $> 7\text{ кбар}$ ). В то же время использование современных методов моделирования (THERIAK-DOMINO), которые позволяют рассматривать «неравновесные» парагенезисы, а не классические минеральные геотермометры и геобарометры, позволили нам зафиксировать еще два метаморфических события с другими, более низкими, температурными параметрами.

**Ключевые слова:**

*Ларбинский блок, Становая область, кутыканский метаморфический комплекс, метаморфизм, PT параметры, геохимия, минералогия, Приамурье, Дальний Восток.*

**A. V. Yurchenko<sup>1</sup>, O. L. Galankina<sup>1</sup>, Yu. R. Volkova<sup>2</sup>, E. S. Malchushkin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Precambrian Geology and Geochronology RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> OSP Amurgeology, JSC Far-Eastern Production and Geological Association, Blagoveshchensk, Russia

**FEATURES OF THE COMPOSITION OF MINERALS AND METAMORPHISM CONDITIONS OF ALUMINOUS GNEISSES OF THE KUTYKAN METAMORPHIC COMPLEX OF THE LARBINSKY BLOCK OF THE STANOVY TERRAIN (AMUR REGION, FAR EAST)**

**Abstract**

Our new data (mineral-petrographic and geochemical) on alumina gneisses of the Kutukan metamorphic complex of the Larba block support the previously obtained data on granulite parameters of metamorphism ( $> 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $> 7\text{ kbar}$ ). The use of modern modeling methods (THERIAK-DOMINO), which allow to consider "non-equilibrium" paragenesis rather than classical mineral geothermometers and geobarometers, allowed us to find two more metamorphic events with lower temperature parameters.

**Keywords:**

*Larbinsky block, Stanovaya oblast, Kutukan metamorphic complex, metamorphism, PT parameters, geochemistry, mineralogy, Amur Region, Far East.*

Ларбинский блок входит в состав Становой гранит-зеленокаменной области (СГЗО) (по мнению В. А. Глебовицкого (2009), С. Д. Великославинского (2017), А. М. Ларина (2006) и Е. Б. Сальниковой (2007) — Джугджуро-Становой складчатой области или Джугджуро-Станового супертеррейна) (Глубинное..., 2010). СГЗО распространена от бассейна р. Витим до Охотского моря и имеет складчато-блоковое строение. Основу геологического строения СГЗО составляют раннедокембрийские породы, входящие в состав метаморфических комплексов, объединенных в блоки и структурно ограниченных Становой (с севера) и Монголо-Охотской (с юга) системой разломов.

Ларбинский блок, породы которого объединены в одноименную серию, характеризуются преобладанием в разрезе гнейсов глиноземистых и высокоглиноземистых, приуроченных к верхам разреза серии (хорогочинский и кутыканский метаморфические комплексы). Низы разреза серии представлены гранулитами основного состава (уркиминский и пуриканский метаморфические комплексы) (Актуализированная..., 2008).

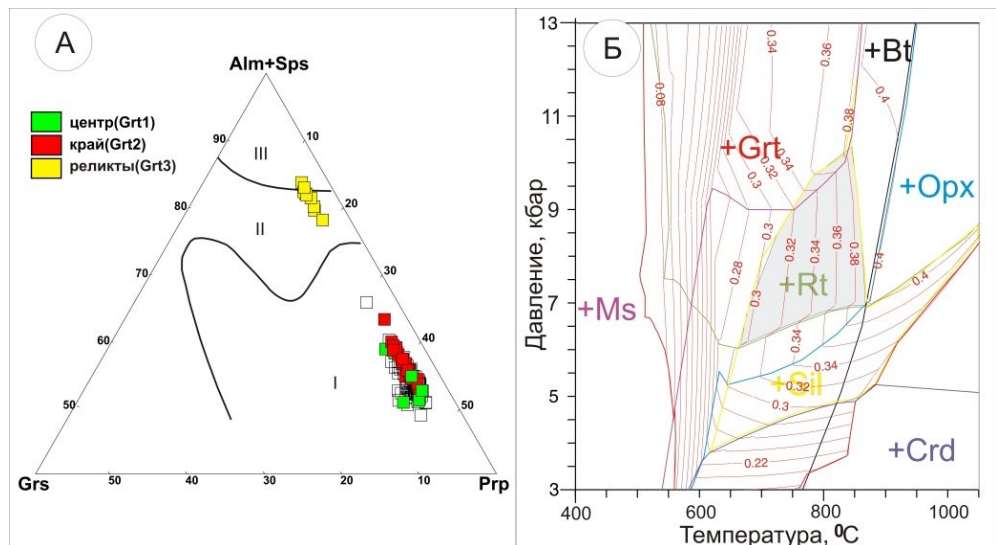
Изучение условий метаморфизма проведено на основе исследования высокоглиноземистых мигматизированных биотит-гранатовых гнейсов кутыканского метаморфического комплекса, отобранных в 1,5 км от трассы Тынды — Хорогочи, на правом берегу руч. Хорогочи-2.

Биотит-гранатовый гнейс состоит из Grt (здесь и далее по тексту сокращения минералов даны по Kretz (1983)) (20–40 %), бурого Bt (до 10 %),

серицитизированого Pl с антипертитами (размер зерен 0,5–2 мм, до 25 %), Kfs (до 25 %), Sil (5 %), кварца (10 %), мусковита (до 5 %), хлорита (до 5 %). Grt с размером зерен 0,5 мм до 2 см содержит включения Pl, Qtz, Bt, иголок Rt, Po. Зерна Bt достигают 2 мм в контакте с Grt, а в матриксе породы размер зерен уменьшается до 0,3 мм. Bt часто содержит сагенитовый Rt и включения Zr. Ms встречается в составе агрегата с Chl и Bt, замещающим Grt, а также развивается по полевым шпатам. Структура породы порфиробластовая, а структура основной ткани лепидогранобластовая.

*Гранаты* в глиноземистом гнейсе относятся к пироп-альмандиновому ряду с небольшой примесью гроссулярового компонента.

В гранатах наблюдается небольшая зональность, где по краю зерна и/или по крупным трещинам развивается хлорит-слюдистая кайма (центр  $Alm_{55-57}Sps_{0-1}Prp_{37-39}Grs_{5-6}$  → край  $Alm_{62-65}Sps_{0-1}Prp_{30-32}Grs_{2-3}$ ). Встречаются зерна граната, практически полностью замещенные хлорит-слюдистой массой, при этом состав граната становится существенно железистым  $Alm_{80-83}Prp_{11-15}Grs_3Sps_{0-4}$ . На рисунке, *A* видно, что составы граната попадают в поле «гранулитовых» гранатов, в то время как измененные составы замещенных зерен находятся в поле гранатов «амфиболитовой» фации метаморфизма.



Тройная диаграмма для составов граната (*A*). Поля по (Крылов, 1991):

*I* — гранулитовая фация; *II* — амфиболитовая фация;  
*III* — эпидот-амфиболитовая фация. *Б* — расчетные поля устойчивости метаморфических минеральных парагенезисов.

Серым цветом обозначено поле устойчивости парагенезиса 1–2.

Красным цветом приведены изолинии содержания пироба в гранате

A triple diagram for garnet (*A*). Fields according to (Krylov, 1991):

*I* — granulite facies; *II* — amphibolite facies; *III* — epidote-amphibolite facies.

*Б* — calculated stability field of metamorphic mineral parageneses. Gray color indicates the stability field of the paragenesis 1–2.

The isopleths of pyrope content in garnet is highlighted in red

Темная слюда по классификации (Bailey, 1984) представлена Phl с общей железистостью  $Fe\# = 27-34\%$  и  $TiO_2 = 3,8-6\%$ . Состав Phl, который замещает Grt, отличается от состава Phl из матрикса ( $Fe\# = 40-50\%$ ,  $TiO_2 = 0-2,9\%$ ). Стоит отметить, слюда во включениях в Grt более магнезиальная, чем в матриксе породы ( $Fe\# = 24-29\%$ ,  $TiO_2 = 3,6-4,1\%$ ).

Калиевый полевой шпат в образце является Or с небольшой примесью Ab компонента (3–8 % Ab).

Плагиоклаз во включениях в гранате с содержанием An компонента 34–4 %, одно зерно 59 % An, в матриксе An = 33–46 %. При вторичных изменениях, когда по плагиоклазу развивается мусковит и хлорит, его состав становится более основной, до 64–68 % An.

Состав мусковита, развивающегося по плагиоклазу:  $Fe\# = 17-39\%$ ,  $Na_2O = 0,1-0,2\%$ ,  $TiO_2 = 0-0,2\%$ . Состав мусковита в составе хлорит-слюдистой массы по гранату:  $Fe\# = 24-53\%$ ,  $Na_2O = 0,2-0,4\%$ ,  $TiO_2 = 0,1-0,3\%$ . Хлорит имеет общую железистость  $Fe\# = 36-47\%$ . Петрографические наблюдения и химизм минералов позволяют выделить следующие парагенезисы: 1 — Grt1(ядро) + Bt1 + Pl1 + Kfs + Sil + Qtz + Rt (все минералы во включениях в Grt), 2 — Grt2(край) + Bt2 + Pl2 + Kfs + Sil + Qtz + Rt (все минералы из матрикса породы) и 3 — Grt3(реликты) + Pl3 + Bt3? + Ms + Chl + Qtz.

Для расчета P-T-условий образования гранат-биотитовых парагенезисов использовались составы минералов в программе PT\_Quick (Доливо-Добровольский Д. В., ИГГД) и GPT (Reche, 1996).

По Grt–Bt и Grt–Pl–Sil–Qtz для парагенезиса (1) получили параметры: температура 615–627 °С, давление 3–4 кбар. Для парагенезиса (2) получена температура 610–760 °С, давление 3,0–5,4 кбар. Для парагенезиса (3) получена температура 410–510 °С для Grt–Bt ассоциации и 420–440 °С для Grt–Chl ассоциации.

По составу Grt является высокомагнезиальным (Prp до 40 %), Bt содержит иголки рутила (первоначально зерна Bt были насыщены  $TiO_2$ ), а также в породе отмечается наличие антипертитового калиевого полевого шпата и пертитового плагиоклаза, и в то же время силлиманит, включенный в гранат и в матрикс породы. Перечисленные выше петрографические особенности пород свидетельствуют о гранулитовых условиях метаморфизма. Немаловажным моментом является присутствие ориентированных включений рутила в гранате, что служит косвенным признаком УНР/УНТ условий метаморфизма (Юрченко, 2012). Однако при использовании в расчетах реальных химических составов минералов мы получаем температуры равновесия, отвечающие условиям амфиболитовой фации метаморфизма, что говорит о регрессивных изменениях в породе, не позволяющих должным образом восстановить раннюю историю метаморфизма. Учитывая последний факт, для термобарометрических оценок и расчета полей устойчивости метаморфических минеральных парагенезисов использован компьютерный метод расчета на основе программы THERIAK-DOMINO (de Capitani, Brown, 1987) с обновлениями С. de Capitani (1995–2012 гг.).

Для расчета использован химический состав образца PT35-10 ( $SiO_2$  55,8,  $Al_2O_3$  19,1,  $TiO_2$  0,91,  $FeO$  11,3,  $MnO$  0,18,  $MgO$  4,66,  $CaO$  3,22,  $Na_2O$  2,84,  $K_2O$  0,13). Результаты расчета приведены на рисунке, Б.

В изученном образце не обнаружены Орх, Ctd, Птм ни в виде включений в гранате, ни в матриксе породы. Это позволяет для 1-го и 2-го парагенезисов ограничить границу давления областью устойчивости Rt, ниже которой

парагенезис существовать не может (рис., *Б*, линия зеленого цвета). Максимальное содержание Prp компонента в гранате 38 %, поэтому температуру пиковых условий метаморфизма можно ограничить  $> 800$  °С по изолиниям состава граната (рис., *Б*, красные линии), а давление  $> 7$  кбар. Последнее указывает на пиковые условия метаморфизма изучаемых пород. Дальнейшие регрессивные изменения приводят к снижению температуры и давления до 700 °С и давления не ниже 6,5 кбар (рис., *Б*, по изолиниям содержание Prp снижается до 32 %), по результатам классической Grt–Vt минеральной геотермометрии 620–760 °С, давление 3–7 кбар. Вероятно, более позднее метаморфическое событие приводит к почти полному замещению граната хлорит-слюдистым агрегатом и более интенсивным изменениям полевых шпатов. Гранат-хлоритовым и гранат-биотитовым минеральными геотермометрами определена температура 410–510 °С, вероятно, при давлениях не выше 5 кбар. Данные выводы также находят отражение и в петрографических наблюдениях.

Предшественниками в Ларбинском блоке зафиксированы два гранулитовых метаморфических события возрастом  $2585 \pm 20$  млн лет (Бибикова, 1984) и  $1880 \pm 21$  млн лет (Сальникова, 2007). Для первого события по ассоциации Grt + Орх + Pl из центральных частей минералов получены параметры метаморфизма пиковых условий 830 °С и 9,5 кбар, а из основных пород для ассоциации Grt + Орх + Срх + Pl + Qtz — 860 °С и 10 кбар (метод TWEQU) (Глебовицкий, 2009). Для Западного домена СЗГО ранее установлены параметры амфиболитового метаморфизма — температура 630–730 °С при давлении 8,5–11,5 кбар (Александров, 2010).

Полученные нами данные о параметрах метаморфизма пиковых условий дополняют параметры, ранее установленные другими авторами. В то же время использование современных методов моделирования (THERIAK-DOMINO и др.), которые позволяют рассматривать «неравновесные» парагенезисы, а не классические минеральные геотермометры и геобарометры, позволило нам зафиксировать еще два метаморфических события, требующих уточнения их времени, с другими, более низкими, температурными параметрами.

*Работа выполнена в рамках темы НИР ИГГД РАН № 0132-2019-0013 и частично в рамках Государственного задания Роснедра от 30.12.2016 № 049-00012-17-00.*

## Литература

*Актуализированная* легенда Становой серии листов Государственной геологической карты РФ масштаба 1 : 200000 (Издание второе) (Объяснительная записка). Хабаровск, 2008. 100 с.

Александров И. А. Метаморфические породы амфиболитовой фации Джугджуро-Становой складчатой области (условия образования и состав протолитов). Владивосток: Дальнаука, 2010. 212 с.

Бибикова Е. В., Шульдинер В. И., Грачева Т. В. и др. Изотопный возраст гранулитов на западе Становой области // Докл. АН СССР. 1984. Т. 275, № 6. С. 1471–1474.

Глебовицкий В. А., Котов А. Б., Сальникова Е. Б. и др. Гранулитовые комплексы Джугджуро-Становой складчатой области и Пристанового пояса: возраст, условия и геодинамические обстановки проявления метаморфизма // Геотектоника. 2009. № 4. С. 3–15.

*Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / отв. ред. А. Н. Диденко, Ю. Ф. Мальшев, Б. Г. Саксин. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 с.*

*Другова Г. М., Глебовицкий В. А. Некоторые закономерности изменения состава граната, биотита, роговой обманки при региональном метаморфизме // Региональный метаморфизм докембрийских формаций СССР. М.: Наука. 1965. С. 33–46.*

*Сальникова Е. Б., Ларин А. М. Котов А. Б. и др. U-Pb геохронология гранулитов Джугджуро-Становой складчатой области // Гранулитовые комплексы в геол. развитии докембрия и фанерозоя: мат-лы II Рос. конф. по проблемам геологии и геодинамики докембрия (Санкт-Петербург, 2–4 октября 2007 г.). СПб., 2007. С. 287–289.*

*Юрченко А. В., Балтыбаев Ш. К., Морозов М. В. и др. Ориентированные включения гётита в метаморфическом гранате глиноземистых гнейсов Орехово-Павлоградской зоны (Украинский щит, район с. Васильковка) // ДАН. 2012. Т. 446, № 6. С. 668–671.*

*Bailey S. W. Classification and structures of the micas. Crystal chemistry of the true micas // Rev. Mineral., 1984. Vol. 13. P. 60.*

*deCapitani C., Brown T. H. The computation of chemical equilibrium in complex systems containing non-ideal solutions // Geochim. Cosmochim. Act. 1987. Vol. 51. P. 2639–2652.*

*Kretz R. Symbols for rock-forming minerals // Amer. Mineral. 1983. Vol. 68. P. 277–279.*

*Reche J., Francisco J. M. GPT: An excel spreadsheet for thermobarometric calculations in metapelitic rocks // Computers & Geosciences. 1996. Vol. 22, Is. 7. P. 775–784.*

#### **Сведения об авторах**

**Юрченко Анастасия Владимировна**

младший научный сотрудник, ИГГД РАН, yurchenko-nastya@yandex.ru

**Галанкина Ольга Леонидовна**

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ИГГД РАН, galankinaol@mail.ru

**Волкова Юлия Ростиславовна**

ОСП «Амургеология», ДВ ПГО, VolkovaYR@rusgeology.ru

**Мальчушкин Евгений Сергеевич**

ОСП «Амургеология», ДВ ПГО, alaundo@mail.ru

**Yurchenko Anastasiya Vladimirovna**

Junior Researcher, IPGG RAS, yurchenko-nastya@yandex.ru

**Galankina Olga Leonidovna**

PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher, IPGG RAS, galankinaol@mail.ru

**Volkova Yulia Rostislawowna**

OSP Amurgeology, JSC Far-Eastern Production and Geological Association, VolkovaYR@rusgeology.ru

**Malchushkin Eugenij Sergeewitch**

OSP Amurgeology, JSC Far-Eastern Production and Geological Association, alaundo@mail.ru