

УДК 552.2:551.72(571.5)

## ГРАНУЛИТОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЖУГДЖУРО-СТАНОВОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ И ПРИСТАНОВОГО ПОЯСА: ВОЗРАСТ, УСЛОВИЯ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ ПРОЯВЛЕНИЯ МЕТАМОРФИЗМА

© 2009 г. В. А. Глебовицкий, А. Б. Котов, Е. Б. Сальникова,  
А. М. Ларин, С. Д. Великославинский

*Институт геологии и геохронологии докембрия РАН,  
199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2*

Поступила в редакцию 18.09.2008 г.

В статье систематизированы полученные к настоящему времени данные о возрасте и условиях формирования гранулитовых комплексов западной части Джугджуро-Становой складчатой области (Ларбинский и Дамбукинский блоки) и сопредельной территории Пристанового пояса (Курульгинский, Зверевский и Сутамский блоки). В истории геологического развития западной части Джугджуро-Становой складчатой области устанавливается по крайней мере три раннедокембрийских эпизода высокоградного гранулитового метаморфизма с возрастом 2.83–2.85, 2.60–2.65 и 1.88–1.90 млрд. лет. В пределах Пристанового пояса можно выделить пять метаморфических событий, условия которых отвечали гранулитовой фации. С первым из этих событий связан ранний гранулитовый метаморфизм, мигматизация и внедрение чарнокитов с возрастом  $2813 \pm 1$  млн. лет в пределах Курульгинского блока. Второму тектоническому событию отвечают структурно-метаморфические преобразования чарнокитов в условиях гранулитовой фации и образование в них циркона с возрастом  $2708 \pm 7$  млн. лет. В течение третьего тектонического события произошло становление интрузий эндербитов джелуйского ( $2627 \pm 16$  млн. лет) и чарнокитов алтуальского ( $2614 \pm 7$  млн. лет) комплексов. Практически сразу после этого события последовало внедрение интрузий каларского анортозит-чарнокитового комплекса ( $2623 \pm 23$  млн. лет). С четвертым событием связан первый эпизод раннепротерозойского метаморфизма гранулитовой фации, проявленный в породах сутамской толщи одноименного тектонического блока, который, по-видимому, обусловлен столкновением Олекмо-Алданской континентальной микроплиты и пассивной окраины Учурской континентальной микроплиты. И, наконец, пятому метаморфическому событию отвечают структурно-метаморфические преобразования в условиях гранулитовой фации, наложенные на породы каларского комплекса (Курульгинский блок), а также проявления высокобарного метаморфизма в Зверевском и Сутамском блоках ( $1935 \pm 35$  млн. лет).

Позднеархейские метаморфические события, скорее всего, связаны с амальгамацией и последующей коллизией террейнов, ныне представляющих собой позднеархейское гранулитовое основание Джугджуро-Становой складчатой области, с Олекмо-Алданской континентальной микроплитой. В раннем протерозое тектонические структуры Алданского щита и Джугджуро-Становой складчатой области были разделены океанской структурой. Закрытие этой океанской структуры и коллизия Алданской и Становой континентальных микроплит также сопровождалась проявлениями метаморфизма гранулитовой фации и привели к формированию Пристанового пояса, или Пристановой сутурной зоны. Этот коллизионный шов продолжал функционировать и в фанерозое (от ранней юры до раннего мела), что выразилось в развитии мощных зон сдвиговых деформаций и зеленосланцевого диафтореза.

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема гранулитов Джугджуро-Становой складчатой области разрабатывается уже более полувека. После фундаментальных исследований Д.С. Коржинского [19], выделившего Трансибирский Саяно-Становой метаморфический пояс предположительно протерозойского возраста, было проведено обобщение всех имевшихся тогда региональных геологических материалов и введено понятие Джугджуро-Становой складчатой области [49]. Тогда же был выделен и Пристановой пояс как некоторая переходная зона между Алданским щитом и Джугджуро-Становой складчатой областью. При

этом супракрустальные образования этой области и Пристанового пояса были объединены в три комплекса – раннеархейский алданский (гранулитовый), позднеархейский становой и раннепротерозойский джелтулакский. В свою очередь, магматические породы Джугджуро-Становой складчатой области были подразделены на множество комплексов, которые по геологическим соображениям были скоррелированы с указанными выше супракрустальными комплексами. Эта схема широко используется до настоящего времени, хотя полученные за последние годы геохронологические и изотопно-геохимические данные [1, 22, 25–29, 32, 33, 43, 47 и др.] позволяют во многом пересмотреть и уточнить традицион-

ные представления об истории геологического развития и геодинамических режимах эволюции Джугджуро-Становой складчатой области и Пристанового пояса, и в том числе представления о возрасте, условиях и геодинамических обстановках формирования гранулитовых комплексов. В настоящей статье в этом плане рассматриваются гранулитовые комплексы западной части Джугджуро-Становой складчатой области и прилегающей к ней территории Пристанового пояса (рис. 1).

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, СОСТАВ И СТРУКТУРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ГРАНУЛИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Традиционно в пределах Джугджуро-Становой складчатой области выделяют два крупных тектонических блока – Восточно-Становой и Западно-Становой (см. рис. 1), разделенных Джелтулакской шовной зоной [9, 18]. Западная граница Джугджуро-Становой складчатой области при этом достаточно условно проводится по Витимскому глубинному разлому [7, 9]. В то же время существует и иная точка зрения, согласно которой Западно-Становой блок входит в состав Малхано-Яблонового террейна [3, 10, 37, 38], который, в свою очередь, представляет собой фрагмент Байкало-Витимского супертеррейна Центрально-Азиатского складчатого пояса, аккрегированного к Сибирскому кратону в позднем рифее–раннем палеозое [37, 38] или в среднем–позднем палеозое [10]. Проведенные за последние годы геологические, геохронологические и изотопно-геохимические исследования [30, 33] подтверждают эти представления. Они свидетельствуют о том, что история геологического развития Восточно-Станового и Западно-Станового блоков до раннемелового времени, когда произошло их сочленение, была совершенно различной. В свете этих новых данных западную границу Джугджуро-Становой складчатой области целесообразно проводить по Джелтулакской шовной зоне, как это и было предложено в работах [10, 38].

В геологическом строении раннедокембрийского основания Джугджуро-Становой складчатой области принимают участие три основных типа тектонических структур: гранулитовые блоки (Ларбинский, Дамбукинский, Брянтинский, Чогарский и др.), структурно-формационные зоны, сложенные породами станового комплекса, метаморфизованными в условиях амфиболитовой фации, и линейные “троги” желтулакского типа, в составе которых преобладают интенсивно тектонизированные породы, степень метаморфизма которых соответствует эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фациям. Пристановой пояс, или зона сочленения Джугджуро-Становой складчатой области и Алданского щита, представляет собой гигантскую зону тектонического меланжа, прослеженную на расстояние около 1000 км. Этот пояс включает (с запада

на восток) Каларский, Курультинский, Зверевский, Сутамский, Аюмканский и Джугджурский тектонические блоки, сложенные метаморфизованными в условиях гранулитовой фации породами каларской, курультинской, зверевской, сутамской и холболохской толщ алданского гранулитогнейсового мегакомплекса. В корреляционных стратиграфических схемах нижнего докембрия Восточной Азии [15] формирование гранулитовых комплексов Джугджуро-Становой складчатой области и Пристанового пояса относится к раннему архею, станового комплекса – к позднему архею, а желтулакского комплекса – к раннему протерозою.

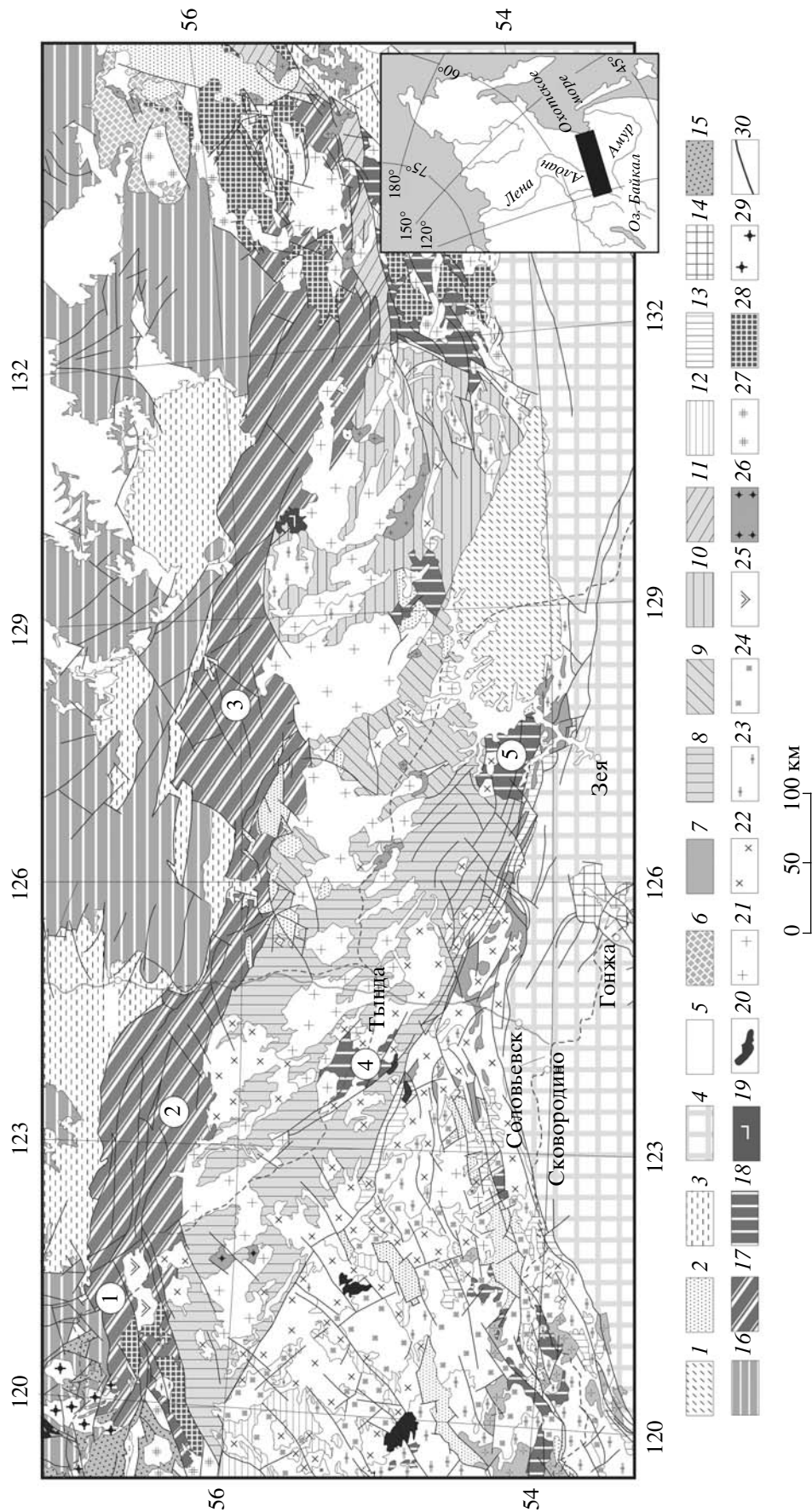
Как уже отмечалось выше, в статье рассматривается западная часть Джугджуро-Становой складчатой области, где гранулитовые комплексы закартированы в пределах Ларбинского, Дамбукинского и Брянтинского тектонических блоков, и прилегающая к ней территория Пристанового пояса, которая включает Курультинский, Зверевский и Сутамский тектонические блоки (см. рис. 1), сложенные преимущественно породами, метаморфизованными в условиях гранулитовой фации.

**Дамбукинский блок.** Супракрустальные образования этого блока представлены главным образом двушироксеновыми и пироксен-амфиболовыми основными кристаллическими сланцами (иногда с гранатом), реже амфиболитами, различными гнейсами, кварцитами и кальцифирами, условия метаморфизма которых отвечают гранулитовой фации повышенных давлений. К наиболее древним плутоническим образованиям Дамбукинского блока относятся гранитоиды чарнокитового и древнестанового комплексов, которые в легендах существующих геологических карт рассматриваются соответственно как раннеархейские и позднеархейские [8]. Гранитоиды чарнокитового комплекса образуют сравнительно небольшие субсогласные пластообразные тела. Контакты этих тел с вмещающими породами интрузивные, местами с зонами эруптивных брекчий. Среди гранитоидов чарнокитового комплекса преобладают чарнокиты, в эндоконтактных зонах встречаются эндербиты. Все эти породы имеют крупнозернистое сложение, гнейсовидную текстуру и в различной мере катаклазированы.

Гранитоиды древнестанового комплекса, так же, как и породы чарнокитового комплекса, образуют субсогласные с вмещающими породами тела. Среди них преобладают мелко- и среднезернистые гнейсовидные биотитовые граниты и трондьемиты.

**Ларбинский блок.** В составе ларбинской толщи преобладают основные кристаллические сланцы. Кроме того, характерной составной частью этой толщи являются мощные горизонты гранат-биотит-ортопироксеновых и гранат-биотит-кордиерит-(силлиманитовых) гнейсов.

Метаморфизованные и мигматизированные в условиях гранулитовой фации породы ларбинского



**Рис. 1.** Схема геологического строения Джугджуро-Становой складчатой области и Пристанового пояса

1 – неоген-четвертичные впадины; 2 – меловые впадины; 3 – юрские впадины; 4 – преимущественно палеозойские нерасчлененные комплексы Монголо-Охотского пояса и Амурского террейна; 5 – платформенный чехол (V-Єтm); 6 – элгейская серия (PR<sub>1</sub>); 7 – желтулакская серия (PR<sub>1</sub>?); 8-11 – комплексы Восточно-Станового террейна (PR<sub>1</sub>); 8 – иликанская серия; 9 – брягинская серия; 10 – куруинская серия; 11 – улско-майская серия; 12-13 – комплексы Западно-Станового террейна (PR<sub>1</sub>); 12 – тунгирская серия; 13 – усть-гилуйская серия; 14 – гонжинская серия (PR<sub>1</sub>); 15 – улуканская серия (PR<sub>1</sub>); 16 – гранулитовые комплексы Адланского шита нерасчлененные (преимущественно PR<sub>1</sub>); 17 – гранулитовые комплексы Пристанового пояса (AR<sub>2</sub>-PR<sub>1</sub>); 18 – гранулитовые блоки в пределах Джугджуро-Становой складчатой области (AR<sub>2</sub>-PR<sub>1</sub>); 19 – целочные базальты (N-Q); 20 – базиг-гипербазитовые интрузии нерасчлененные (PR<sub>1</sub>-MZ); 21 – гранитоиды тындинско-бакаранского, улско-зейского и ираканского комплексов (K<sub>1</sub>); 22 – гранитоиды позднестанового и турурингского комплексов (K<sub>1</sub>); 23 – гранитоиды токско-алгоминского комплекса (Г) и их аналоги; 24 – гранитоиды амананского комплекса (P-T); 25 – интрузии щелочных пород (Таскый массив, PZ<sub>1</sub>); 26 – гранитоиды балыхтакского комплекса (PR<sub>1</sub>); 27 – гранитоиды улканского и кодарского комплексов (PR<sub>1</sub>); 28 – анортозиты (PR<sub>1</sub>); 29 – граниты Чаруодоканского комплекса (AR<sub>2</sub>); 30 – разломы. Цифрами в кружках обозначены блоки: 1 – Курультинский, 2 – Зверевский, 3 – Сутамский, 4 – Ларбинский, 5 – Дамбукинский

комплекса прорваны крупными телами габброидов и связанных с ними эндербитов [36, 48]. Совместно с вмещающими породами они участвуют в образовании пакетов лежащих изоклинальных складок и сопряженных с ними субгоризонтальных зон сдвиговых деформаций, формирование которых также протекало в условиях гранулитовой фации. Важно отметить, что после образования этих структурных элементов происходит формирование значительных по объему тел эндербито-гнейсов и чарнокито-гнейсов и несколько запаздывающих по отношению к ним жильных тел перемещенных чарнокитов и эндербитов.

**Курультинский блок.** В геологическом строении Курультинского блока принимают участие тоналит-грандьемитовые ортогнейсы и разнообразные по составу метаосадочные и метавулканические породы курультинской толщи. В разрезах курультинской толщи преобладают гранат-биотитовые ( $\pm$ силлиманит,  $\pm$ гиперстен) плагиогнейсы, которые содержат отдельные прослои и линзы двупироксеновых ( $\pm$ амфибол,  $\pm$ гранат) кристаллических сланцев, известково-силикатных пород, кварцитов и магнетитовых кварцитов. Значения  $T_{Nd}(DM)$  гранат-гиперстен-биотитовых и гранат-биотитовых плагиогнейсов (граувакковые алевролиты) курультинской толщи находятся в интервале 3.0–3.5 млрд. лет [17, 22]. Другими словами, метаграувакки курультинской толщи имеют источники как с позднеархейскими ( $T_{Nd}(DM) = 3.0$  млрд. лет), так и с раннеархейскими Nd модельными возрастными ( $T_{Nd}(DM) = 3.5$  млрд. лет). В то же время эту толщу прорывают эндербиты Джелуйского и чарнокиты Алтуальского массивов, возраст которых составляет соответственно  $2627 \pm 16$  и  $2614 \pm 7$  млн. лет [26, 43, 47]. Отсюда следует, что накопление курультинской толщи связано с позднеархейским этапом геологического развития Курультинского блока.

При парциальном плавлении (анатексисе и диатексисе) ортогнейсов Курультинского блока возникают лейкосомы, представленные эндербитами и чарнокитами, или тела паравтохтонных эндербитов и чарнокитов, тогда как с глиноземистыми гнейсами курультинской толщи обычно ассоциируют гранатовые граниты и чарнокиты. Все эти породы участвуют в формировании субширотных складок и зон сдвиговых деформаций, которые относятся к главным структурным элементам Пристанового пояса. Следует отметить, что чарнокиты, которые являются продуктами плавления в условиях гранулитовой фации, нередко подвергаются расщеплению также в условиях гранулитовой фации, что свидетельствует о неоднократном его проявлении.

Важным элементом геологического строения Курультинского блока являются одни из крупнейших в Сибири массивы анортозитов каларского комплекса. Эти массивы внедрялись в породы курультинской толщи, метаморфизованные в грану-

литовой фации. В свою очередь, анортозиты подвергаются метаморфизму в условиях амфиболитовой фации в связи с формированием надвиговых пластин. Однако есть указания на то, что на ранних стадиях структурно-метаморфических преобразований анортозитов условия метаморфизма достигали гранулитовой фации [20, 40]. Зоны сдвиговых деформаций, ограничивающие массивы, деформированы с образованием субширотных структур, прослеживающихся вдоль всего Пристанового пояса. Завершается развитие Пристанового пояса формированием мощных зон сдвиговых деформаций и зеленосланцевого диафтореза.

**Зверевский и Сутамский блоки.** Зверевский блок сложен главным образом метавулканическими и метаосадочными породами зверевской толщи. Для зверевской толщи характерна ассоциация гиперстеновых ( $\pm$ биотит,  $\pm$ гранат,  $\pm$ амфибол), двупироксеновых ( $\pm$ гранат,  $\pm$ амфибол) и гранат-биотитовых плагиогнейсов, которые содержат прослои двупироксеновых ( $\pm$ амфибол) основных кристаллических сланцев и единичные линзы известково-силикатных пород, кальцифиоров и кварцитов. В северо-восточной части Зверевского блока широко распространены интенсивно мигматизированные гранат-кордиеритовые гнейсы (кинциты). Величины  $T_{Nd}(DM)$  гранат-биотитовых плагиогнейсов (граувакковые алевролиты) зверевской толщи составляют около 2.9 млрд. лет, а гиперстеновых плагиогнейсов (андезиты) – 2.9–3.0 млрд. лет [17, 22]. Верхняя возрастная граница формирования этой толщи не установлена. Поэтому на основании Sm-Nd изотопных данных можно только констатировать, что она имеет возраст не древнее 2.9 млрд. лет.

Сутамская толща представлена гранат-биотитовыми ( $\pm$ гиперстен,  $\pm$ кордиерит) гнейсами и плагиогнейсами (граувакковые песчаники, полимиктовые и граувакковые алевролиты), высокоглиноземистыми гнейсами (алевропелитовые и пелитовые аргиллиты, субсиаллиты), гиперстеновыми ( $\pm$ биотит,  $\pm$ гранат), двупироксеновыми, диопсидовыми ( $\pm$ амфибол) плагиогнейсами и гнейсами, ультраосновными и основными кристаллическими сланцами (пикрито-базальты, толеитовые базальты, андезит-базальты), кварцитами, магнетитовыми кварцитами и известково-силикатными породами. Гранат-гиперстен-биотитовые гнейсы и гранат-биотитовые плагиогнейсы (граувакковые песчаники, полимиктовые и граувакковые алевролиты) этой толщи имеют  $T_{Nd}(DM) = 2.5$ –3.0 млрд. лет, а высокоглиноземистые гнейсы (алевропелитовые и пелитовые аргиллиты) –  $T_{Nd}(DM) = 3.0$  млрд. лет [17, 22]. Сутамскую толщу прорывают интрузии диоритов с возрастом  $1998 \pm 18$  млн. лет [22]. Эти данные дают все основания полагать, что она имеет раннепротерозойский возраст.

По данным В.Л. Дука с соавторами [11, 12], в пределах Зверевского и Сутамского блоков отчет-

ливо устанавливается по крайней мере два эпизода метаморфизма гранулитовой фации, которые разделены внедрением интрузий пород основного и среднего состава. При этом второй эпизод гранулитового метаморфизма сопряжен с формированием пакетов лежащих изоклинальных складок и субгоризонтальных зон сдвиговых деформаций [11], которые затем были смяты в прямые субширотные складки, в целом параллельные простиранию Пристанового пояса. Более поздними по отношению к ним являются процессы зеленосланцевого диафтореза, которые затрагивают все без исключения породы Пристанового пояса, а мощные его зоны прослеживаются на восток на многие сотни километров. Они наложены на монцодиориты, сиениты и мангериты Тасского массива (Зверевский блок), имеющего возраст  $286 \pm 4$  млн. лет [42]. Упоминание этой оценки возраста является весьма важным, так как по направлению к южной границе Зверевского блока условия зеленосланцевого диафтореза в зонах сдвиговых деформаций сменяются условиям эпидот-амфиболитовой, а затем амфиболитовой фации.

**Соотношения станového и гранулитовых комплексов.** Непосредственные соотношения станového и зверевского комплексов установлены в южной части Зверевского блока [35, 49], где гнейсы становой серии контактируют с гранулитами зверевской толщи по мощной зоне сдвиговых деформаций и диафтореза амфиболитовой фации, полого падающей на юг. Эта зона интерпретируется как поверхность крупного надвига, деформированная линейными складками субширотного простирания и дипиловыми купольными структурами, в ядрах которых залегают параавтохтонные позднестановые граниты [55].

Гранулиты ларбинского комплекса и связанные с ними магматические породы вовлекались в деформации совместно с окружающими породами эльгаканской серии, которую обычно относят к становому комплексу. По данным [48], ранние стадии этих структурно-метаморфических преобразований ознаменовались формированием пакетов лежащих изоклинальных складок и субгоризонтальных зон сдвиговых деформаций (тектонические покровы), которые затем сминаются в прямые складки. Позднестановые граниты либо формируют серию купольных структур, наложенных на тектонические покровы, либо мелкие их тела проникают по осевым поверхностям более поздних линейных складок. Иными словами, в Ларбинском блоке соотношение гранитоидов станového комплекса со складчатými деформациями, а, в частности, и с формированием покровно-надвиговой структуры близки к тем, которые наблюдаются в Пристановом поясе.

## УСЛОВИЯ МЕТАМОРФИЗМА

В этом разделе суммированы накопленные на сегодняшний день данные о термодинамических условиях проявления высокоградного метаморфизма Джугджуро-Становой складчатой области и Пристанового пояса. По мере возможности полученные ранее оценки Р-Т параметров метаморфизма проверялись методом расчета множества моновариантных реакций по программе TWEEQU [53, 54], так как этот подход позволяет не только определить температуру и давление по базе согласованных термодинамических данных, но и контролировать состояние равновесия между минеральными фазами.

Практически на всех этапах развития Джугджуро-Становой складчатой области и Пристанового пояса имело место проявление метаморфизма в условиях гранулитовой фации. При этом высокобарические минеральные парагенезисы лучше всего сохранились в пределах Зверевского и Сутамского блоков. В северо-восточной части Зверевского блока широко распространены интенсивно мигматизированные гранат-кордиеритовые гнейсы (кинцигиты), в которых наблюдается развитие кордиеритовых, кварц-кордиеритовых, кордиерит-шпинелевых, а в редких случаях и кордиерит-сапфириновых кайм вокруг граната, что можно связывать либо с повышением температуры, либо, что более вероятно, с декомпрессией в процессе экзгумации. Данные о составе минералов [35, 49, 58] свидетельствуют о том, что давление в пике метаморфизма при температуре  $800^\circ\text{C}$  не превышало 6 кбар и снижалось до 4–5 кбар в период образования упомянутых реакционных структур. В ассоциирующихся с гранат-кордиеритовыми гнейсами гранат-двупироксеновых сланцах декомпрессионный эффект проявляется в формировании вокруг железистого граната (содержание пиропового минала не превышает 20%) симплектитов основного плагиоклаза, ортопироксена и магнетита. Давление, рассчитанное по составу плагиоклаза, ортопироксена и граната из внешней диффузионных кайм, не превышает 5 кбар при температуре  $820^\circ\text{C}$ , что определяет нижние ограничения пиковых условий метаморфизма.

В период формирования субгоризонтальных зон сдвиговых деформаций, соответствующих второму эпизоду метаморфизма гранулитовой фации, в ортоклазсодержащих кинцигитах Зверевского блока возникает новая ассоциация, состоящая из высокомагнезильного (до 40% пиропы) граната, агрегаты которого вытянуты по новой сланцеватости, а также ориентированных вдоль нее биотита и силлиманита, что можно связывать только с повышением давления до 7–8 кбар, которое, возможно, происходило на фоне снижения температуры. С помощью гранат-пироксенового геотермометра [50] по аналогичному вторичному парагенезису получены оценки температуры около  $800^\circ\text{C}$  и давления не ме-

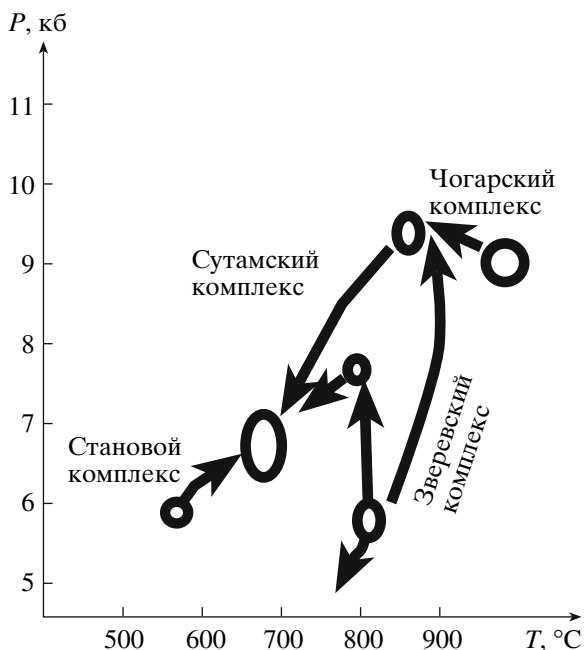


Рис. 2. Тренды эволюции метаморфизма высокоградных комплексов Джугджуро-Становой складчатой области и Пристанового пояса. Пояснения в тексте

нее 8 кбар [36], что неплохо согласуется с только что приведенными оценками РТ-параметров. В Сутамском блоке в аналогичных по структурно-возрастному положению зонах сдвиговых деформаций возникает ассоциация высокомагнезиального (до 60% пироба) граната с ортопироксеном и силлиманитом, которая позволила А.А. Маракушеву [34] выделить сутамскую фацию глубинности. Расчетные параметры образования указанной ассоциации составляют:  $T = 850^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 9.5$  кбар.

Еще более определенно можно интерпретировать те процессы высокоградного метаморфизма, которые наложены на интрузивные породы основного и среднего состава, разделяющие два эпизода гранулитового метаморфизма в пределах Зверевского блока. По оценкам [36, 58], температура наложенного метаморфизма меняется в интервале  $780\text{--}810^{\circ}\text{C}$ , а давление –  $8.0\text{--}9.5$  кбар (гранат-пироксеновый геотермометр), т.е. практически совпадает с только что приведенными данными для глиноземистых гнейсов. По составам минералов в парагenezисах гранатсодержащих кристаллических сланцах и метапелитовых парагнейсах курультинская толща мало отличается от зверевской.

Данные по условиям метаморфизма ларбинской толщи приведены в работах [16, 52, 58]. Высокая магнезиальность граната (до 42% пироба) в парагenezисе с биотитом и силлиманитом или с ортопироксеном и биотитом позволила прийти к выводу о том, что температура в пике метаморфизма превышала  $850^{\circ}\text{C}$  [52]. Так как гнейсы ларбинской толщи

сильно диафторированы, методом TWEEQU были рассчитаны условия их метаморфизма ( $T = 830^{\circ}\text{C}$  и  $P = 9.5$  кбар) по составам центральных частей зерен граната, ортопироксена и плагиоклаза, которые оказались близкими к равновесным. Близкие оценки РТ-параметров ( $T = 860^{\circ}\text{C}$  и  $P = 10$  кбар) были получены для ассоциации двух пироксенов, граната, плагиоклаза и кварца в основных породах. Следует отметить, что рассматриваемые здесь минеральные ассоциации связаны со структурами второго этапа высокоградного метаморфизма и что именно из этих глиноземистых гнейсов из зерен граната был выделен циркон с возрастом  $2585 \pm 20$  млн. лет [6].

Становой комплекс на основной части территории Джугджуро-Становой складчатой области метаморфизован в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации повышенных давлений (кианит-силлиманитовая фациальная серия) и регионально мигматизирован. Процессы ультраметаморфизма выразились в последовательном формировании лейкосом анатектических мигматитов [48]. Прогрессирующее парциальное плавление гнейсов завершилось диатексисом и формированием значительных объемов коровых магм, которые и образовали ряд крупных массивов позднестановых гранитов. Давление в пике метаморфизма пород станового комплекса можно оценить лишь приблизительно – в  $6\text{--}7$  кбар.

Известно два района проявления зональности метаморфизма станового времени. В бассейне Ньюкжи в пределах выходов пород эльгаканской серии выделяются зоны ставролит-биотит-кианит-мусковитовой, гранат-кианит-биотит-мусковитовой, кианит-биотит-гранат-ортоклазовой и силлиманит-биотит-гранат-ортоклазовой субфаций [16]. Эти зоны связаны последовательными постепенными переходами, для которых устанавливаются прогрессивные метаморфические реакции. На южной окраине Пристанового пояса, где мигматизированные гранат-кианит-биотитовые и гранат-амфибол-биотитовые гнейсы станового комплекса по надвигам контактируют с изофациально диафторированными гранулитами, в северном направлении происходит переход к эпидот-амфиболитовой, а затем к зеленосланцевой фации.

Приведенные здесь данные позволяют в обобщенном виде представить тренды эволюции РТ-параметров в ходе формирования высокоградных комплексов в пределах рассматриваемой части Джугджуро-Становой складчатой области и сопредельной территории Пристанового пояса (рис. 2). Для сравнения приведены данные по условиям метаморфизма чогарского комплекса восточной части Джугджуро-Становой складчатой области [14]. Обращает на себя внимание, что ранние гранулиты Зверевского блока обнаруживают признаки декомпрессии, после которой происходит увеличение давления до 8 кбар, а в некоторых случаях, в частности, в Сутамском блоке, – до 9.5 кбар. После этого про-

исходит декомпрессионное охлаждение ( $P$  снижается до 6.5–7 кбар) до 650–700°C в связи с метаморфизмом станového комплекса.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На сегодняшний день получены многочисленные геохронологические данные, которые позволили во многих случаях коренным образом изменить сложившиеся представления о геологическом развитии Джугджуро-Становой складчатой области и Пристанового пояса [1, 22, 25–33, 43, 47 и др.]. Однако в настоящей статье мы рассмотрим лишь те из них, которые имеют прямое отношение к определению возрастных рубежей проявления гранулитового метаморфизма.

**Дамбукинский блок.** На основании геологических и геохронологических данных в пределах Дамбукинского блока отчетливо выделяются по крайней мере три эпизода гранулитового метаморфизма [32, 46]. Для чарнокитов и гранитоидов древнестанового комплекса Дамбукинского блока получены оценки возраста  $2824 \pm 34$  и  $2833 \pm 15$  млн. лет. Эти гранитоиды испытали наложенные структурно-метаморфические преобразования, соответствующие двум этапам высокоградного метаморфизма с возрастом  $2648 \pm 3$  и  $1884 \pm 9$  млн. лет. Пироксен-полевошпатовые метасоматиты из зоны развития форстерит- и герцинит-содержащих кальцифиров в гранулитах Дамбукинского блока имеют возраст  $1896 \pm 15$  млн. лет. Близкие оценки возраста ( $1885 \pm 9$  и  $1889 \pm 9$  млн. лет) получены и для кристаллических сланцев Мульмугинского блока Sm-Nd методом по парам “вал-гранат” (неопубликованные данные авторов).

**Ларбинский блок.** Рассматривая ларбинский гранулитовый комплекс, мы можем оперировать главным образом геохронологическими данными [6], полученными для цирконов ( $2585 \pm 20$  млн. лет) из включений в высокомагнезиальном гранате высокоглиноземистых гнейсов, для которых получены оценки термодинамических условий их формирования ( $P = 9.5$  кбар при  $T = 830^\circ\text{C}$  [52]). Очевидно, что эта оценка возраста относится ко второму эпизоду гранулитового метаморфизма, сопряженному с образованием пакетов лежащих изоклиналильных складок и субгоризонтальных зон сдвиговых деформаций, которые наложены не только на метаморфизованные в условиях гранулитовой фации породы ларбинской толщи и древние ортогнейсы, но и прорывающие их интрузии пород известково-щелочно-го ряда.

Новая геохронологическая информация получена только для однородных параавтохтонных чарнокитов, формирование которых произошло после формирования пакетов лежащих изоклиналильных складок и субгоризонтальных зон сдвиговых де-

формаций и соответственно относится к третьему эпизоду гранулитового метаморфизма. Возраст этих чарнокитов составляет  $1880 \pm 21$  млн. лет (неопубликованные данные авторов), который очень близок к другим датировкам последнего высокоградного события.

**Курультинский блок.** Полученные на сегодняшний день геохронологические данные [4, 5, 26, 43, 45–47 и др.] позволяют выделить в истории геологического развития Курультинского блока по крайней мере четыре эпизода высокоградного метаморфизма. К первому из них относится формирование чарнокит-мигматитов и параавтохтонных чарнокитов, возраст кристаллизации которых составляет  $2846 \pm 33$  млн. лет. Со вторым эпизодом метаморфизма связаны структурно-метаморфические преобразования этих гранитоидов в условиях гранулитовой фации и образование в них циркона с возрастом  $2708 \pm 7$  млн. лет. В течение третьего эпизода метаморфизма произошло внедрение интрузий эндербитов джелуйского ( $2627 \pm 16$  млн. лет) и чарнокитов алтуальского ( $2614 \pm 7$  млн. лет) комплексов. Практически сразу после этого события последовало внедрение интрузий каларского анортозит-чарнокитового комплекса ( $2611 \pm 38$ – $2623 \pm 23$  млн. лет). Возраст четвертого эпизода высокотемпературного регионального метаморфизма, наложенного на породы Каларского массива, составляет  $1849 \pm 15$  млн. лет.

**Зверевский и Сутамский блоки.** В настоящее время мы располагаем информацией только о возрасте последнего эпизода метаморфизма гранулитовой фации, проявленного в пределах Зверевского и Сутамского блоков. С этим эпизодом метаморфизма связано формирование чарнокит-мигматитов и параавтохтонных чарнокитов с возрастом  $1935 \pm 35$  млн. лет [51]. При этом необходимо учитывать, что сутамская толща имеет раннепротерозойский возраст [22]. Другими словами проявление первого эпизода метаморфизма гранулитовой фации в породах зверевской и сутамской толщ также относится к раннепротерозойскому этапу геологического развития Пристанового пояса.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведенные в статье данные позволяют наметить этапы наиболее существенных преобразований древнейших комплексов пород и формирования главных элементов строения западной части Джугджуро-Становой складчатой области и сопредельной территории Пристанового пояса.

Обратимся, прежде всего, к материалам по Пристановому поясу, субширотная ориентировка которого является дискордантной как по отношению к главным картируемым структурным элементам Алданского щита, так и Джугджуро-Становой складчатой области. Наиболее поздний эпизод гранулитово-

го метаморфизма, проявленный в пределах Пристанового пояса, имеет возраст около 1.9 млрд. лет. Он сопряжен с формированием крупных покровно-надвиговых структур и отличается достаточно высокobarическими условиями, что свидетельствует о коллизионной обстановке. Это позволяет рассматривать Пристановой пояс как коллизионный шов, который развивался после формирования наиболее молодых из главных структурных элементов центральной части Алданского щита, а именно разрывных нарушений Амгинской системы, Тимптонского надвига и Иджеко-Нуямской зоны разрывных нарушений и, наконец, Тыркандинской зоны разрывных нарушений с возрастными интервалами соответственно  $1925 \pm 5$ – $1966 \pm 4$ ,  $1925 \pm 5$ – $1950 \pm 2$  и  $1919 \pm 4$ – $1953 \pm 5$  млн. лет [21–23, 44].

Следует отметить, что в пределах Зверевского и Сутамского блоков проявлено еще одно, более раннее, раннепротерозойское метаморфическое событие гранулитовой фации в возрастном интервале 2.4–1.9 млрд. лет, структурно-метаморфические преобразования которого наложены на породы сутамской толщи. Не исключено, что это событие было обусловлено столкновением Олекмо-Алданской континентальной микроплиты и пассивной окраины Учурской континентальной микроплиты [22], которое сопровождалось формированием Тимптонского глубинного пластического надвига, разрывных нарушений Амгинской системы и глубинных пластических надвигов Восточно-Олекминской системы Алданского щита.

Правомерность выделения в раннедокембрийской истории Джугджуро-Становой складчатой области коллизионных событий на рубеже примерно 1.9 млрд. лет подтверждается и результатами геохронологических исследований гранулитовых комплексов Ларбинского и Дамбукинского блоков [6, 32, 46]. Как уже отмечалось выше, возраст правтохтонных чарнокитов Ларбинского блока, образование которых связано с заключительным эпизодом гранулитового метаморфизма, составляет  $1880 \pm 21$  млн. лет. В Дамбукинском блоке близкие оценки возраста получены по поздним генерациям циркона из “древних” эндербитов ( $1884 \pm 9$  млн. лет) и циркону из полевошпатовых метасоматитов гранулитовой фации ( $1896 \pm 15$  млн. лет), но и по парам “вал–гранат” (Sm-Nd метод) из высокobarических парагенезисов дупироксеновых кристаллических сланцев ( $1885 \pm 10$  и  $1889 \pm 10$  млн. лет). В целом эти результаты подтверждают существование в это время глобальной системы коллизионных орогенов, когда происходила аккреция крупных фрагментов континентальной коры и формирование одного из древних суперконтинентов [55].

Таким образом, есть все основания полагать, что та древняя континентальная плита (или микроплита), фрагменты которой в виде тектонических блоков сохранились в пределах Джугджуро-Становой

складчатой области, присоединилась к Алданской континентальной плите примерно 1.9 млрд. лет назад – практически сразу же после того, как произошло формирование последней в результате столкновения Олекмо-Алданской и Учурской континентальных микроплит на рубеже 1.92–1.95 млрд. лет [22]. Скорее всего, коллизия Джугджуро-Становой и Алданской континентальных плит была связана с закрытием в раннем протерозое океанской структуры, следом которой, по-видимому, является Пристановой пояс, разделяющий Джугджуро-Становую складчатую область и Алданский щит [10, 57]. Формирование этой океанской структуры, вероятно, было сопряжено с глобально проявленной эпохой рифтогенеза и последующего спрединга (2.2–2.0 млрд. лет [55, 57]). В пределах Чара-Олекминского геоблока Алданского щита этот этап рифтогенеза знаменуется внедрением роя даек пикритов с возрастом  $2204 \pm 41$  млн. лет (Sm-Nd метод по породам в целом [41]), исходные расплавы которых образовались за счет плавления обогащенного мантийного источника. Косвенным свидетельством, подтверждающим существование рассматриваемой океанской структуры, является накопление мощных осадочных толщ Удоканского прогиба с возрастом в интервале  $2180 \pm 50$ – $2066 \pm 6$  млн. лет [2, 31, 39] в условиях пассивной континентальной окраины [13]. С заключительными стадиями эволюции этой пассивной окраины связано внедрение щелочных гранитов катугинского комплекса с возрастом  $2066 \pm 6$  млн. лет, также происходившее в условиях растяжения [29].

Обращает на себя внимание то, что в большинстве изученных гранулитовых блоков Джугджуро-Становой складчатой области и Пристанового пояса обнаружены признаки проявления позднеархейского высокоградного метаморфизма с возрастом примерно 2.6–2.7 млрд. лет (таблица). При этом в Курультинском блоке Пристанового пояса этому интервалу соответствуют, по крайней мере, два эпизода гранулитового метаморфизма. Близкий возраст имеют породы постколлизионного анортозит-чарнокитового Каларского массива ( $2623 \pm 23$  млн. лет). В случае Ларбинского блока на основании структурно-геологических данных можно предположить, что позднеархейский метаморфизм ( $2585 \pm 20$  млн. лет) гранулитовой фации связан с формированием покровно-надвиговой структуры, что наряду с высокobarическим характером парагенезисов может свидетельствовать о коллизионной обстановке. Интересно отметить, что примерно такой же возраст (2.7–2.8 млрд. лет) имеют надвиги, сформированные на границе Чара-Олекминского и Западно-Алданского мегаблоков Алданского щита [21, 22, 24]. Другими словами, можно говорить, хотя и с меньшей уверенностью, чем о протерозое, о проявлении на исследованной территории еще одного важного глобального события в позднем ар-



Последовательность проявления эпизодов гранулитового метаморфизма в истории геологического развития западной части Джугджуро-Становой складчатой области и сопредельной территории Пристанового пояса

Джугджуро-Становая складчатая область		Пристановой пояс		
Дамбукинский блок	Ларбинский блок	Курультинский блок	Зверевский блок	Сутамский блок
–	–	Граниты кодарского комплекса, 1873 ± 2 млн. лет	–	–
Метаморфизм гранулитовой фации, 1884 ± 9 млн. лет	Метаморфизм гранулитовой фации, 1880 ± 21 млн. лет	Формирование тектонических покровов. Метаморфизм гранулитовой фации повышенных давлений (1935 ± 35 млн. лет)		
–	–	–	Интрузии габбро и эндербитов	
–	–	Каларский комплекс, 2611 ± 38–2623 ± 23 млн. лет	Метаморфизм гранулитовой фации умеренных давлений	
Метаморфизм гранулитовой фации умеренных давлений, 2648 ± 3 млн. лет	Формирование тектонических покровов. Метаморфизм гранулитовой фации умеренных давлений, 2585 ± 20 млн. лет	Интрузии чарнокитов (2614 ± 7 млн. лет) и эндербитов (2627 ± 16 млн. лет)	–	Сутамская толща
–	Интрузии габбро и эндербитов	Метаморфизм гранулитовой фации умеренных давлений, 2708 ± 7 млн. лет	–	–
Метаморфизм гранулитовой фации, 2824 ± 34–2833 ± 15 млн. лет	Метаморфизм гранулитовой фации умеренных давлений	Метаморфизм гранулитовой фации, 2846 ± 33 млн. лет	–	–
Дамбукинская толща (камрайская серия)	Ларбинская толща (курультинская и зверевская серии)	Курультинская толща	Зверевская толща	–

хее, выразившегося в формировании древнейшего суперконтинента [55].

Вероятно, это коллизионное событие было пролонгированным во времени и имело дискретный характер, так как в юго-западной краевой части Алданского щита вблизи Станового структурного шва фиксируется несколько импульсов коллизионного и постколлизионного гранитоидного магматизма в интервале от 2.68 до 2.60 млрд. лет [21, 22, 24, 42]. На это также указывает и несколько более молодой возраст гранулитового метаморфизма в Ларбинском блоке Джугджуро-Становой складчатой области (2585 ± 20 млн. лет [6]).

Наиболее древние события гранулитового метаморфизма датируются не так уверенно, как последующие его проявления. В Ларбинском блоке до внедрения габброидов и эндербитов, имевшего место до проявления метаморфизма высоких температур и повышенных давлений с возрастом около 2585 ± 20 млн. лет, проходил метаморфизм гранулитовой фации, о чем свидетельствуют мигматиты с ортопироксеновой лейкосомой. Однако никакой информации об его возрасте нет. В Дамбукинском блоке определен возраст изверженного протолита эндербитов и “древнестановых” грани-

тов (2828 ± 34 и 2833 ± 15 млн. лет), но ничего не известно об условиях метаморфизма этого времени. Единственное место в изученном регионе, где в решении этой проблемы наметился сдвиг, – это Курультинский блок Пристанового пояса. Ранее полученная датировка 3.46 млрд. лет для первого гранулитового метаморфизма [56] имеет большую погрешность, новые же данные более определенно свидетельствуют о проявлении высокотемпературного метаморфизма 2.81–2.85 млрд. лет назад, так как указанная датировка относится к паравотонным чарнокитам. И все же информация о наиболее ранних магматических и метаморфических событиях весьма ограничена, и ее получение является задачей дальнейших исследований.

Геологические, петрологические и геохронологические данные, приведенные в работе, позволяют проследить эволюцию высокоградного метаморфизма Джугджуро-Становой складчатой области и Пристанового пояса. Характерной его особенностью являются относительно высокобарические условия, явная корреляция с покровно-надвиговой тектоникой и, по крайней мере, двукратно повторяющейся коллизионной обстановкой в позднем архее и раннем протерозое. Такие условия во всех случаях достига-

ются не на начальных стадиях эпизодов метаморфизма, а лишь в процессе наложенной деформации, когда происходило формирование мощных сдвиговых зон. В Пристановом поясе в эти зоны попадают породы, предварительно испытывавшие снижение давления, что находит отражение в формировании декомпрессионных реакционных кайм. В основных породах это замещение граната и клинопироксена ортопироксен-плагиоклазовым симплектитом (реакция дезклогитизации). В глиноземистых гнейсах (кинцигитах) часто наблюдаются сложные каймы кордиерита с кварцем или со шпинелью, которые затем разрушаются в процессе образования новой кристаллизационной сланцеватости в зонах сдвиговых деформаций. Это сопровождается образованием парагенезиса высокомагнезиального граната с силлиманитом и биотитом, а в Сутамском блоке – и с ортопироксеном. Только после этого происходит охлаждение и формирование относительно низкотемпературных минеральных ассоциаций. Такие компрессионные эффекты часто наблюдаются в гранулитах и знаменуют собой переход к коллизионной стадии развития.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В истории геологического развития западной части Джугджуро-Становой складчатой области устанавливается по крайней мере три раннедокембрийских эпизода высокоградного гранулитового метаморфизма с возрастом 2.83–2.85, 2.60–2.65 и 1.88–1.90 млрд. лет. В пределах Пристанового пояса можно выделить не менее пяти метаморфических событий, условия которых отвечали гранулитовой фации. С первым из этих событий связан ранний гранулитовый метаморфизм, мигматизация и внедрение чарнокитов с возрастом  $2813 \pm 1$  млн. лет в пределах Курульгинского блока. Второму тектоническому событию отвечают структурно-метаморфические преобразования чарнокитов в условиях гранулитовой фации и образование в них циркона с возрастом  $2708 \pm 7$  млн. лет. В течение третьего тектонического события произошло становление интрузий эндербитов джелуйского ( $2627 \pm 16$  млн. лет) и чарнокитов алтуальского ( $2614 \pm 7$  млн. лет) комплексов. Практически сразу после этого события последовало внедрение интрузий каларского анортозит-чарнокитового комплекса ( $2623 \pm 23$  млн. лет). С четвертым событием связан первый эпизод раннепротерозойского метаморфизма гранулитовой фации, проявленный в породах сутамской толщи одноименного тектонического блока, который, по-видимому, обусловлен столкновением Олекмо-Алданской континентальной микроплиты и пассивной окраины Учурской континентальной микроплиты. И, наконец, пятому метаморфическому событию отвечают структурно-метаморфические преобразования в условиях гранулитовой фации, наложенные на породы каларского комплекса (Курульгинский блок), а также проявления высо-

кобарного метаморфизма в Зверевском и Сутамском блоках ( $1935 \pm 35$  млн. лет).

Позднеархейские метаморфические события, скорее всего, связаны с амальгамацией и последующей коллизией террейнов, ныне представляющих собой позднеархейское гранулитовое основание Джугджуро-Становой складчатой области, с Олекмо-Алданской континентальной микроплитой. В раннем протерозое тектонические структуры Алданского щита и Джугджуро-Становой складчатой области были разделены океанской структурой. Закрывание этой океанской структуры и коллизия Алданской и Становой континентальных микроплит также сопровождались проявлениями метаморфизма гранулитовой фации и привели к формированию Пристанового пояса или Пристановой сутурной зоны. Этот коллизионный шов продолжал функционировать и в фанерозое (от ранней юры до раннего мела), что выразилось в развитии мощных зон сдвиговых деформаций и зеленосланцевого диафтореза.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-05-00668), Минпромнауки (НШ-3533-2008-05) и Программ фундаментальных исследований ОНЗ РАН “Центрально-Азиатский подвижный пояс: геодинамика и этапы формирования земной коры” и “Изотопные системы и изотопное фракционирование в природных процессах”.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов А.Ю., Дриль С.И., Банковская Э.В. Rb-Sr изотопная характеристика аллохтонных и автохтонных позднепротерозойских гранитоидов Станового хребта (южное ограничение Алданского щита) // Тихоокеанская геология. 2001. Т. 20. № 4. С. 61–75.
2. Бережная Н.Г., Бибикова В.Е., Сочава А.Б. и др. Изотопный возраст чинейской подсерии удоканской серии Кодаро-Удоканского прогиба // ДАН СССР. 1988. Т. 302. № 5. С. 1209–1212.
3. Бибикова Е.В., Гаврикова С.Н., Федорчук В.Я. и др. Раннепротерозойский возраст гранулитовых пород Становика (по данным U-Pb метода по циркону) // Геохимия. 1993. № 10. С. 1428–1438.
4. Бибикова Е.В., Другова Г.М., Дук В.Л. и др. Геохронология Алдано-Витимского щита // Изотопная геология и геохронологическая шкала. М.: Наука, 1986. С. 135–159.
5. Бибикова Е.В., Морозова И.М., Грачева Т.В., Макаров В.А. U-Pb возраст курульгинских гранулитов // Древнейшие породы Алдано-Станового щита. Путеводитель международной геологической экспедиции. Проект МПГК 280. Л.: ПГО Севморгеология, 1989. С. 183–191.
6. Бибикова Е.В., Шульдинер В.И., Грачева Т.В. и др. Изотопный возраст гранулитов на западе Становой области // ДАН СССР. 1984. Т. 276. № 6. С. 1471–1474.

7. Гаврикова С.Н., Николаева Л.Л., Галанин А.В. и др. Ранний докембрий южной части Становой складчатой области. М.: Недра, 1991. 171 с.
8. Геологическая карта региона БАМ. Масштаб 1 : 500000. Лист N-52-A. Л.: ВСЕГЕИ, Министерство геологии СССР, 1979.
9. Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 7. Алтай-Саянский и Забайкало-Верхнеамурский регионы. Кн. 2. Забайкало-Верхнеамурский регион / Под ред. В.А. Амантова. Л.: Недра, 1986. 239 с.
10. Гусев Г.С., Хаин В.Е. О соотношениях Байкало-Витимского, Алдано-Станового и Монголо-Охотского террейнов (юг Средней Сибири) // Геотектоника. 1995. № 5. С. 68–82.
11. Дук В.Л. Алданский кристаллический массив и Становая складчатая зона // Структурная эволюция метаморфических комплексов. Л.: Наука, 1977. С. 27–46.
12. Дук В.Л., Балаганский В.В., Зедгенизов А.Н. Последовательность деформаций в архейских образованиях Сутамского блока // Структурная и метаморфическая петрология докембрия Алданского щита. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1975. С. 19–41.
13. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М. Тектоника литосферных плит территории СССР. Кн.1. М.: Недра, 1990. 328 с.
14. Карсаков Л.П. Глубинные гранулиты (на примере чогарского комплекса Становой складчатой системы Восточной Сибири). М.: Наука, 1978. 151 с.
15. Карсаков Л.П. Региональная стратиграфическая схема нижнего докембрия Становой складчатой области / Стратиграфия нижнего докембрия Дальнего Востока. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. С. 10–17.
16. Кастрыкина В.М. Метаморфизм центральной части Джугджуро-Становой складчатой области // Метаморфизм докембрия района Байкало-Амурской магистрали. Л.: Наука, 1983. С. 140–163.
17. Ковач В.П., Котов А.Б., Березкин В.И. и др. Возрастные границы формирования высокометаморфизованных супракrustальных комплексов центральной части Алданского щита: Sm-Nd изотопные данные // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1999. Т. 7. № 1. С. 3–17.
18. Козырева И.В., Авченко О.В., Мишкин М.А. Глубинный метаморфизм позднеархейских вулканогенных поясов. М.: Наука, 1985. 163 с.
19. Коржинский Д.С. Докембрий Алданской плиты и хребта Станового // Стратиграфия СССР. Т. 1. М.-Л.: Недра, 1939. С. 349–366.
20. Кориковский С.П., Баженова Г.Н. Взаимоотношения чарнокитов с анортозитами Каларского массива в связи с проблемой анортозит-чарнокитовой фации // ДАН СССР. 1966. Т. 166. № 2. С. 447–450.
21. Котов А.Б., Глебовицкий В.А., Казанский В.И. и др. Возрастные границы формирования главных картируемых структурных элементов центральной части Алданского щита // Докл. Академии наук. 2005. Т. 405. № 8. С. 1155–1158.
22. Котов А.Б. Граничные условия геодинамических моделей формирования континентальной коры Алданского щита. Автореф. дис. ... докт-ра геол.-мин. наук. ИГТД РАН. СПб.: Издательство СПбГУ, 2003. 78 с.
23. Котов А.Б., Ковач В.П., Сальникова Е.Б. и др. Этапы формирования континентальной коры центральной части Алданской гранулитогнейсовой области: U-Pb и Sm-Nd изотопные данные по гранитоидам // Петрология. 1995. Т. 3. № 1. С. 99–110.
24. Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Яковлева С.З. и др. О возрастных границах формирования ранних надвиговых структур восточной части Олекминской гранит-зеленокаменной области Алданского щита // Докл. Академии наук. 1995. Т. 342. № 2. С. 209–212.
25. Ларин А.М., Котов А.Б., Ковач В.П. и др. Этапы формирования континентальной коры центральной части Джугджуро-Становой складчатой области: Sm-Nd изотопные данные по гранитоидам // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 4. С. 395–399.
26. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др. Каларский комплекс (Алдано-Становой щит) – древнейший представитель анортозит-мангерит-чарнокит-гранитной магматической ассоциации // Петрология. 2006. Т. 14. № 1. С. 4–24.
27. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др. Мезозойские граниты Чубачинского массива Тукурингского комплекса (Джугджуро-Становая складчатая область): новые геохимические, геохронологические и изотопно-геохимические данные // Петрология. 2001. Т. 9. № 4. С. 417–432.
28. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др. Новые данные о возрасте гранитов Кодарского и Тукурингского комплексов, Восточная Сибирь: геодинамические следствия // Петрология. 2000. Т. 8. № 3. С. 267–279.
29. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др. О возрасте Катугинского Та-Nb месторождения (Алдано-Становой щит): к проблеме выделения новой глобальной редкометальной металлогенической эпохи // Докл. Академии наук. 2002. Т. 383. № 6. С. 807–811.
30. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др. Тектоническая эволюция центральной части Джугджуро-Становой складчатой области: результаты U-Pb геохронологических и изотопно-геохимических (Nd, Sr, Pb) исследований // Материалы II Российской конференции по изотопной геохронологии. 25–27 ноября 2003 г. Санкт-Петербург. СПб.: Центр Информационной культуры, 2003. С. 253–257.
31. Ларин А.М., Сальникова Е.Б., Котов А.Б. и др. Раннемеловой возраст регионального метаморфизма становой серии Джугджуро-Становой складчатой области: геодинамические следствия // Докл. Академии наук. 2006. Т. 409. № 2. С. 222–226.
32. Ларин А.М., Сальникова Е.Б., Котов А.Б. и др. Позднеархейские гранитоиды Дамбукинского блока Джугджуро-Становой складчатой области: формирование и преобразование континентальной коры в раннем докембрии // Петрология. 2004. Т. 12. № 3. С. 245–263.
33. Ларин А.М., Сорокин А.А., Котов А.Б. и др. Корреляция возрастных рубежей мезозойского магматизма северного и южного обрамлений восточного фланга Монголо-Охотского складчатого пояса // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса. Материалы на-

- учного совещания 10–14 октября 2005 г. Т. 2. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2005. С. 19–25.
34. *Маракушев А.А.* Проблемы минеральных фаций метаморфических пород. М.: Наука, 1965. 327 с.
  35. *Московченко Н.И., Красников Н.Н., Семенов А.П.* Эндогенная эволюция структурно-вещественных комплексов зоны сочленения алданид и становид // *Метаморфизм докембрия района Байкало-Амурской магистрали*. Л.: Наука, 1983. С. 97–127.
  36. *Московченко Н.И., Семенов А.П., Верхало-Узкий В.Н.* Гранулитовые комплексы Становой складчатой области // *Ранний докембрий Алданского массива и его обрамления*. Л.: Наука, 1985. С. 121–144.
  37. *Парфенов Л.М., Булгатов А.Н., Гордиенко И.В.* Террейны и формирование орогенных поясов Забайкалья // *Тихоокеанская геология*. 1996. Т. 15. № 4. С. 3–15.
  38. *Парфенов Л.М., Ноклеберг У.Дж., Монгер Дж.У.Х. и др.* Формирование коллажа террейнов орогенных поясов севера Тихоокеанского обрамления // *Геология и геофизика*. 1999. Т. 40. № 11. С. 1563–1574.
  39. *Подковыров В.Н., Котов А.Б., Ларин А.М. и др.* Источники и области сноса раннепротерозойских терригенных пород удоканской серии южной части Кодаро-Удоканского прогиба: результаты Sm-Nd изотопно-геохимических исследований // *Докл. Академии наук*. 2006. Т. 408. № 2. С. 223–227.
  40. *Прияткина Л.А., Лаврович Н.Н.* Геология и возраст Каларского массива габбро-анортозитов // *Ранний докембрий Алданского массива и его обрамления*. Л.: Наука, 1985. С. 144–163.
  41. *Пухтель И.С., Журавлев Д.З.* Раннепротерозойские пикриты Олекминской гранит-зеленокаменной области: изотопная Nd-систематика и петрогенезис // *Геохимия*. 1992. № 8. С. 1111–1123.
  42. *Ризванова Н.Г., Левченков О.А., Богомолов Е.С. и др.* Сопоставление методик сепарации фаз цирконов для геохронологических целей // *Геохимия*. 1994. № 7. С. 1076–1087.
  43. *Сальникова Е.Б., Глебовицкий В.А., Котов А.Б. и др.* *Метаморфическая история гранулитов курьютинского блока (Алданский щит): результаты U-Pb датирования единичных зерен циркона* // *Докл. Академии наук*. 2004. Т. 398. № 2. С. 239–243.
  44. *Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Казанский В.И. и др.* Раннепротерозойский возраст Тыркандинской зоны разрывных нарушений Алданского щита: результаты U-Pb датирования фрагментов единичных зерен циркона // *Докл. Академии наук*. 2006. Т. 408. № 4. С. 503–507.
  45. *Сальникова Е.Б., Ларин А.М., Котов А.Б. и др.* Гранулитовый метаморфизм зоны сочленения Алданского щита и Джугджуро-Становой складчатой области: возраст и геодинамические обстановки проявления // Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя (Материалы II Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия). СПб.: ИП Калалкина, 2007. С. 290–293.
  46. *Сальникова Е.Б., Ларин А.М., Котов А.Б. и др.* U-Pb геохронология гранулитов Джугджуро-Становой складчатой области // Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя (Материалы II Российской конференции по проблемам геологии и геодинамики докембрия). СПб.: ИП Калалкина, 2007. С. 287–289.
  47. *Сальникова Е.Б., Ларин А.М., Котов А.Б. и др.* Каларский анортозит-чарнокитовый комплекс (Алдано-Становой щит): возраст и тектоническое положение // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2004б. Т. 12. № 3. С. 3–11.
  48. *Седова И.С., Глебовицкий В.А.* Гранитообразование в условиях амфиболитовой фации в зоне развития пород станового комплекса // *Ранний докембрий Алданского массива и его обрамления*. Л.: Наука, 1985. С. 92–121.
  49. *Судовиков Н.Г., Глебовицкий В.А., Другова Г.М. и др.* Геология и петрология южного обрамления Алданского щита. Л.: Наука, 1965. 290 с.
  50. *Термо- и барометрия метаморфических пород*. Л.: Наука, 1977. 207 с.
  51. *Шемякин В.М., Глебовицкий В.А., Бережная Н.Г. и др.* О возрасте древнейших образований Сутамского блока (Алданский гранулитовый ареал) // *Докл. Академии наук*. 1998. Т. 360. № 4. С. 526–529.
  52. *Шульдинер В.И., Панченко И.В., Шульдинер И.С.* Петрология метаморфических комплексов бассейна реки Нюкжи // *Метаморфизм докембрия в районе Байкало-Амурской магистрали*. Л.: Наука, 1983. С. 66–75.
  53. *Berman R.G.* Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique, with petrological application // *Can. Mineral*. 1991. Vol. 29 (4). P. 833–855.
  54. *Berman R.G., Aranovich L.Y.* Optimized standard state and solution properties of minerals // *Contrib. Min. Petrol*. 1996. Vol. 126 (1). P. 25–37.
  55. *Glebovitsky V.A.* Early Precambrian of Russia. London: Gordon & Breach, 1997. 315 p.
  56. *Glebovitsky V.A., Drugova G.M.* Tectonothermal evolution of the Western Aldan shield, Siberia // *Precambrian Res*. 1993. Vol. 62. № 4. P. 493–505.
  57. *Mints M.V., Rundqvist D.V., Larin A.M. et al.* Early Precambrian Geodynamics and Metallogeny // *Geodynamics and Metallogeny: Theory and Implications for Applied Geology* / N.V. Mezhelovsky, A.F. Morozov, G.S. Gusev and V.S. Popov (Eds). М.: МПР РФ, 2000. С. 105–191.
  58. *Moskovchenko N.I., Ovchinnikova G.V., Kastriykin V.M.* High-pressure granulites of East Siberia in terms of Archaean and Proterozoic evolution // *Precambrian Res*. 1993. Vol. 62. P. 473–491.

Рецензенты: В.И. Коваленко,  
А.А. Щипанский, В.В. Ярмолюк

## Granulite Complexes of the Dzhugdzhur–Stanovoi Fold Region and the Peristanovoi Belt: Age, Formation Conditions, and Geodynamic Settings of Metamorphism

V. A. Glebovitsky, A. B. Kotov, E. B. Sal'nikova, A. M. Larin, and S. D. Velikoslavinsky

*Institute of Precambrian Geology and Geochronology, Russian Academy of Sciences,  
nab. Makarova 2, St. Petersburg, 199034, Russia*

*e-mail: admin@ad.igpp.ras.spb.ru*

Received September 18, 2008.

**Abstract**—The available data on the age and formation conditions of the granulite complexes in the western Dzhugdzhur–Stanovoi Fold Region (Dambuki and Larba blocks) and the adjacent territory of the Peristanovoi Belt (Kurul'ta, Zverevsky, and Sutam blocks) are systematized. At least three Early Precambrian episodes of high-grade granulite-facies metamorphism dated at 2.85–2.83, 2.65–2.60, and 1.90–1.88 Ga are established in the geological history of the western Dzhugdzhur–Stanovoi Fold Region. Five granulite-facies metamorphic events are documented in the Peristanovoi Belt. The early granulite-facies metamorphism, migmatization, and emplacement of charnockite are related to the first event ( $2183 \pm 1$  Ma) in the Kurul'ta Block. The structural transformation and metamorphism of charnockite under conditions of granulite facies correspond to the second event ( $2708 \pm 7$  Ma). The enderbite belonging to the Dzhelui Complex ( $2627 \pm 16$ ) and charnockite of the Altual Complex ( $2614 \pm 7$  Ma) were emplaced during the third tectonic event, which was immediately followed by the emplacement of the Kalar anorthosite–charnockite complex ( $2623 \pm 23$  Ma). The first episode of Early Proterozoic granulite-facies metamorphism of the Sutam Sequence in the tectonic block of the same name was related to the fourth event, probably caused by collision of the Olekma–Aldan continental microplate and the passive margin of the Uchur continental microplate. Finally, granulite-facies metamorphism superimposed on rocks of the Kalar Complex in the Kurul'ta Block and high-pressure metamorphism in the Zverevsky and Sutam blocks ( $1935 \pm 35$  Ma) correspond to the fifth metamorphic event. The Late Archean metamorphic events are most likely related to the amalgamation and subsequent collision of the terranes which currently make up the granulite basement of the Dzhugdzhur–Stanovoi Fold Region with the Olekma–Aldan continental microplate. In the Early Proterozoic, the Aldan Shield and the Dzhugdzhur–Stanovoi Fold Region were separated by an oceanic basin. Its closure, and the collision of the Aldan and Stanovoi continental microplates, were accompanied by granulite-facies metamorphism and led to the formation of the Peristanovoi Belt, or Peristanovoi Suture Zone. This collision suture continued functioning in the Phanerozoic (from the Early Jurassic to the Early Cretaceous) with the formation of thick shear zones and greenschist retrograde metamorphism.