

УДК 551.243 , 552.4

П.А. Тишин¹

РЕКОНСТРУКЦИЯ НАДВИГОВЫХ СТРУКТУР СЛОЖНОДИСЛОЦИРОВАННЫХ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ СЕРИЙ НА ПРИМЕРЕ МАРУНКЕУСКОГО ЭКЛОГИТ-АМФИБОЛИТ- ГНЕЙСОВОГО КОМПЛЕКСА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

Выявлены закономерности структурной позиции основных петрографических типов метаморфического комплекса.

Одной из проблем современной структурной геологии является реконструкция тектонической эволюции высокотемпературных и высокобарических метаморфических комплексов. Тесная перемежаемость пород разного состава, структурная неоднородность, многократно наложенные процессы гранитизации и диафтореза зачастую делают данные объекты весьма сложными для диагностики кинематического режима их становления. В качестве одного из подходов к картированию метаморфических комплексов применимы методологические аспекты, изложенные в работе Е.И. Паталахи “Генетические основы морфологической тектоники” (1981). Ярким примером подобного решения указанной проблемы может служить реконструкция внутренней структуры марункеусского эклогит-амфиболит-гнейсового комплекса.

Породы марункеусского эклогит-амфиболит-гнейсового комплекса слагают один из тектонических пакетов одноименной структуры в зоне Главного Глубинного Разлома Урала [1,5]. На юго-западе эти образования надвинуты на metabазиты няровейской свиты, а на востоке перекрываются глубоководными осадками и вулканитами гердизского эклогит-глаукофансланцевого комплекса (рис. 1). Внутри данной пластины все образования ограничены по простиранию и чередуются друг с другом, создавая впечатление структуры “слоеного пирога” [14, 15]. Породы несут в себе признаки неоднократных пластических деформаций (макро-, мезо-, микромасштабная складчатость, будинаж, бластомилонитизация и т.д.), характер распределения которых указывает на чешуйчато-блоковое строение комплекса [12]. При этом в изоклинально-складчатом матриксе, контролируемом системой субмеридиональных взбросо-надвигов, картируются слабодислоцированные “блок-компози́ты” в понимании Е.И. Паталахи (1981).

Структурными исследованиями, с применением геометрического анализа, в истории формирования эклогит-амфиболит-гнейсового комплекса устанавливается два основных этапа пластических деформаций. Деформации *первого этапа* фиксируются по плоскостным (S_1) и линейным (L_1) эле-

© П.А.Тишин¹:¹ Томский госуниверситет (г.Томск, Россия).

ментам протополосчатости и сланцеватости, сохранившимся в центральных частях “блок-композитов”. Анализ распределения данных элементов позволяет выявить фрагменты структур Fm_1 , представленных системой асимметричных полулежачих опрокинутых на северо-запад, складок (рис. 1а, 2а-б). Их осевые поверхности имеют северо-восточное простирание и падают на юго-восток под углом 50° . Полюса S_1 распределяются по дуге большого круга (рис. 1а, 2а-б), что соответствует складкам цилиндрического типа [3]. Минеральная линейность L_1 рассеивается вдоль дуги малого круга радиусом 60° вокруг горизонтального субмеридионального центра “л” и сопряжена с шарнирами складок — Vm_1 . Геометрия структур Fm_1 , отсутствие сопряженных дизъюнктивов, развитие синскладчатого будинажа и широкое распространение мигматитов указывают на глубинные высокопластические условия деформаций данного этапа.

Деформации *второго этапа* определяют мозаично-блоковое строение комплекса и носят двустадийный характер. Структуры первой стадии представлены зонами ламинарного течения взбросо-надвигового типа и связанной с ними кинематической складчатостью Fm_2 со сквозным развитием кливажа осевой поверхности S_2 . Генерализованная осевая плоскость складок Fm_2 имеет субмеридиональное простирание с крутым падением на восток, а шарнир Vm_2 ориентирован горизонтально и контролирует развитие минеральной линейности L_2 (рис. 1б-в, 2в). Морфология складок определяется их структурной позицией. Для матрикса характерны изоклиналильные формы Fm_2 (рис. 1в, 2в), а для “блок-композитов”, в зависимости от мощности их поперечного сечения, — коробчатые, флексурные и V-образные структуры Fm_2 . При этом крылья коробчатых и флексурных складок ориентируются согласно элементам матрикса, а их сводовые части унаследуют план деформаций предыдущего этапа (рис. 1б). Выявленный структурный парагенезис указывает на ведущую роль механизма вязкопластического течения в условиях преобладания деформаций чистого сдвига, реализуемых во фронтальных зонах глубинных надвигов [7, 8].

Деформации второй стадии обусловлены правосторонним сдвигом вдоль ранних субмеридиональных срывов и сопровождались формированием открытых складок изгиба Fm_3 , локальных взбросов север-северо-западного простирания и сопряженных с ними раздвигов и кинематических складок Fm_4 . Структуры Fm_3 распознаются в гранито-гнейсах матрикса по изгибанию плоскостных элементов в результате подворота пластов вблизи поверхностей сдвига. Их осевые плоскости имеют субширотное простирание с крутым падением (70°) на северо-восток, а шарниры погружаются по азимуту $30-40^\circ$ под углом $62-68^\circ$. Структуры Fm_4 интерпретируются как складки волочения и приурочены к фронтальным зонам взбросов. Небольшой угол между их крыльями (менее 25°) указывает на изоклиналильный характер этих структур. Их осевые плоскости имеют север-северо-западное простирание ($335-345^\circ$) с падением на северо-восток под углом $70-75^\circ$, а генерализованный шарнир погружается на северо-восток (аз. 44°) под углом 65° (рис. 1г, 2г). Наблюдаемый парагенезис подворота пластов и системы сопряженных взбросов и раздвигов отвечает деформациям простого сдвига в условиях увеличения роли пластического течения.

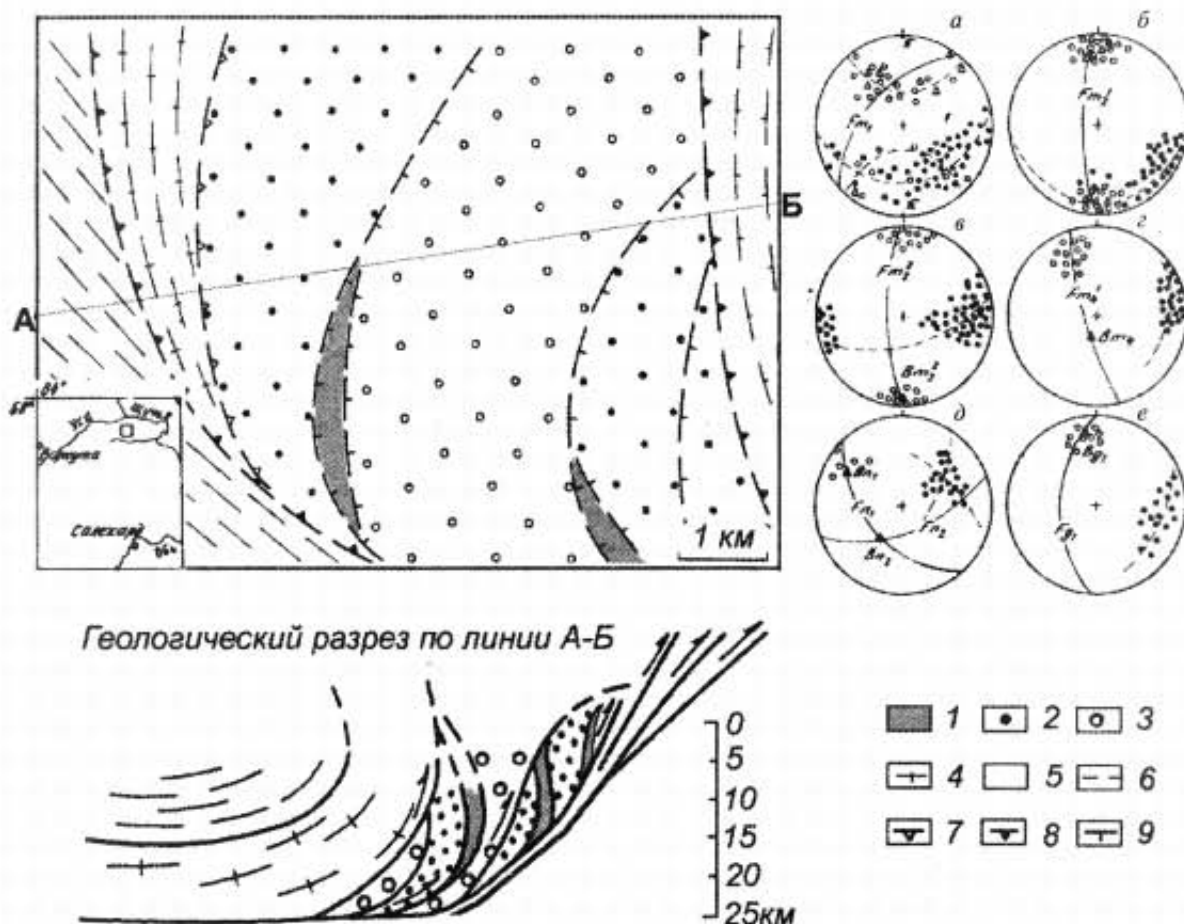


Рис. 1. Схема геологического строения южной части хребта Марун-Кеу с данными структурного изучения

1-3 области распространения главных типов высокобарических ассоциаций Марункеуского комплекса: гранатовых перидотитов и кианитовых эклогитов (1), барруазитовых эклогитов (2), парагонитовых эклогитов (3); 4 — марункеуский гранат-амфиболитовый комплекс; 5 — гердизский эклогит-глаукофансланцевый комплекс; 6 — зеленые сланцы няровейской свиты; 7 — 9 надвиги: первого (7), второго (8), третьего (9) порядков. А-Б линия разреза

На диаграммах: проекции плоскостных и линейных структурных элементов, а также положение складок различной генерации в породах марункеуского комплекса (а-г) и его обрамления (д, е) а — S_1, L_1, Fm_1 ; б — S_1, L_1, Fm_2 ; в — S_2, L_2, Fm_2 ; г — Fm_4 ; д — няровейской свиты е — гердизского комплекса. Залитые кружки полюса плоскостных структурных элементов S, не залитые кружки — проекции минеральной линейности; залитые треугольники — проекции генерализованных шарниров складок, незалитые треугольники — индивидуальные шарниров складок; сплошные линии — проекции осевых плоскостей складок, прерывистые — траектории рассеивания S и L элементов. Проекция на верхнюю полусферу равнополощадной сетки Шмидта

Структурный контроль системой деформаций обеих стадий второго этапа субмеридиональной системы разломов, развивающаяся инверсия типа “чистый сдвиг — простой сдвиг” позволяют рассматривать их как две последовательно проявившиеся стадии формирования синнадвиговой глубинной зоны скалывания [2, 6, 7, 11].

Сдвиго-надвиговая природа деформаций второго этапа метаморфитов хр. Марун-Кеу отражается в породах обрамления. В метабазитах няровейской свиты фиксируется два типа складчатости (Fn_1, Fn_2). Наиболее ранние изоклиналильные складки Fn_1 дискордантны структурам марункеуского ком-

плекса. Их осевые плоскости простираются в северо-западном направлении (аз. $315-320^\circ$) с падением на северо-восток под углом 50° , а шарниры имеют субгоризонтальное залегание (рис. 1*д*). Более поздние складки Fm_2 конформны западному контакту марункеуского комплекса и образуются в результате подворота пластов при правостороннем смещении. Наиболее четко синнадвиговая природа деформаций проявлена на восточном экзоконтакте. Здесь сланцы гердизского комплекса смяты в изоклинальные складки Fg_1 , с субмеридиональным простираением осевых плоскостей и горизонтальными шарнирами, обнаруживая полный конформизм с элементами Fm_2 (рис. 1*е, в*).

Проведенные исследования позволили выявить закономерности структурной позиции основных петрографических типов, слагающих марункеуский эклогит-амфиболит-гнейсовый комплекс. По особенностям вещественного состава в нем отчетливо выделяются две петрогенетические серии пород — *метабазитовая* (протодифференцированная) и *гранитоидная* (инъекционная).

Метабазитовая серия объединяет гранатовые перидотиты, кианитовые, барруазитовые и парагонитовые эклогиты, содержащие реликты своих протолитов (меланотроктолиты, оливинные габброиды и габбро-диабазы, соответственно) (рис. 2), а также амфиболиты, кристаллические сланцы и плагиогнейсы, образовавшиеся на месте высокоглиноземистых лейкогабброидов и диоритоидов [9].

Гранатовые перидотиты слагают ядра антиклинальных складок Fm_1 в пределах “блок-композита” Слюдяная Горка. Среди них устанавливаются реликтовые участки плагиоперидотитов и троктолитов. В сводовых частях структур Fm_1 в гранатовых перидотитах отмечаются согласные линзообразные тела друзит-эклогитов, гранатитов, пироп-каринтиновых пород и барруазитовых эклогитов.

Кианитовые эклогиты обнаружены в пределах того же “блок-композита”, но локализованы на крыльях и в ядрах синклиналиных форм Fm_1 . Для данных пород характерен четкий стратиморфный контакт с гранатовыми перидотитами, который фиксируется амфибол-гранатовой минерализацией. Вблизи этой границы преобладают каринтиновые разновидности кианитовых эклогитов, которые на удалении постепенно сменяются цоизит-кианитовыми. Протолиты этих пород картируются в северной части Слюдяной Горки в виде изометричного тела оливинных габброидов, приуроченного к ядру одной из синформ Fm_1 .

Барруазитовые и парагонитовые эклогиты пользуются наибольшим распространением в пределах марункеуского комплекса. При этом барруазитовые разности тяготеют к краевым зонам комплекса, а парагонитовые — локализованы в его центральной части, подчеркивая сложную надвиговую структуру эклогит-амфиболит-гнейсовой ассоциации. Несмотря на разную пространственную позицию, тела барруазитовых и парагонитовых эклогитов характеризуются единым стилем локализации, они встречаются как в “блок-композитах”, так и в изоклинально-складчатом матриксе. В “блок-композитах” они образуют будины протяженностью до ста метров среди кристаллосланцев, плагиогнейсов и мигматитов. При этом разрыв и

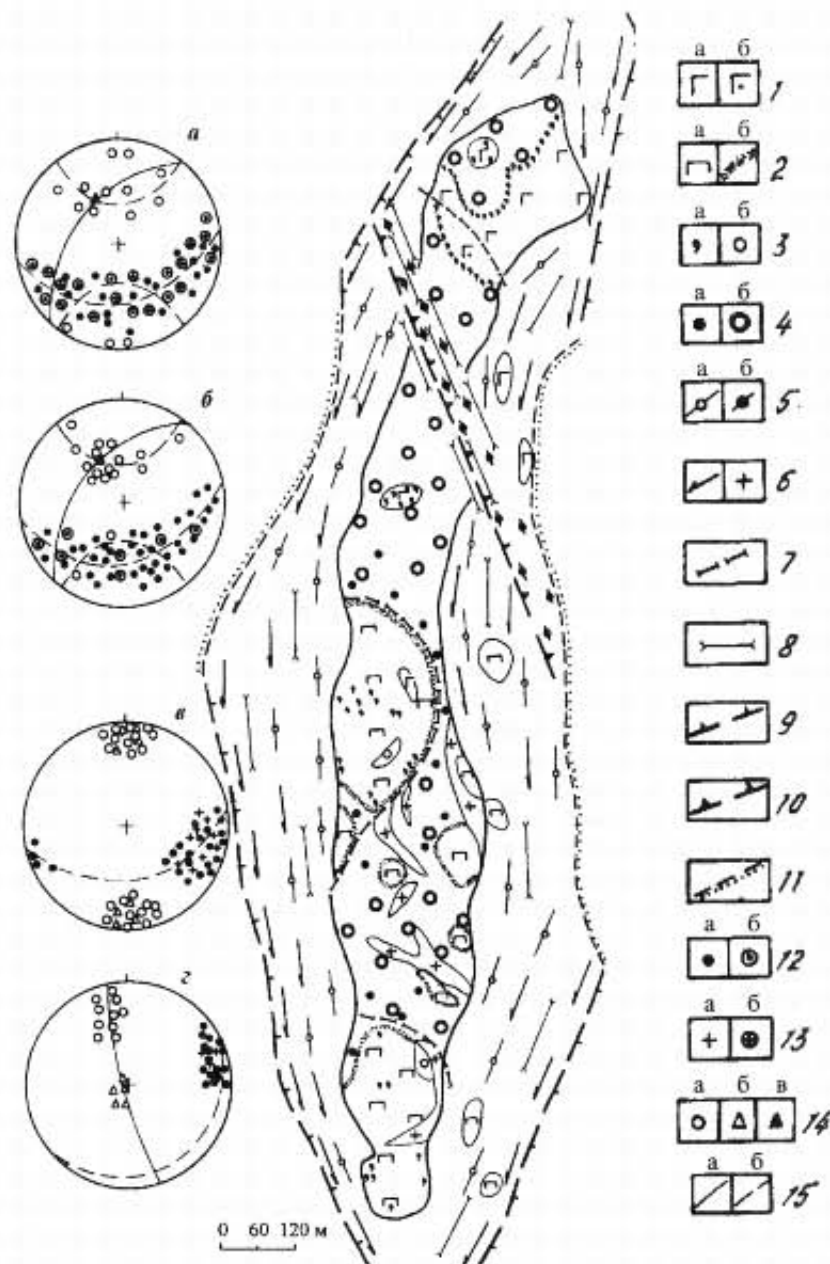


Рис. 2. Схема строения "блок-компози́та" Слюдяная Горка с данными структурных исследований 1 — оливиновое габбро (а), оливиновый габбронорит (б); 2 — гранатовые перидотиты (а), пиррокаринтиновые породы (б); 3 — друзит-эклогиты и эклогитизированные габброиды (а), алмадиновые эклогиты (б); 4 — эклогиты с однородными текстурами (а — кианит-каринтиновые, б — цоизит-кианитовые разновидности); 5 — эклогиты с директивными текстурами (а — цоизит-кианитовые, б — кианитовые разновидности); 6 — гранат-цоизитовые амфиболиты (а), гранитоиды (б); 7 — простира́ние сводов складок Fm_1 ; 8 — простира́ние осевых поверхностей изоклинальных складок Fm_2 и Fm_4 ; 9 — взбросо-надви́ги; 10 — взбросы; 11 — границы развития делювиальных отложений; 12 — полюса плоскостных элементов S: а — сланцеватости и минеральной уплощенности, б — полосчатости; 13 — полюса элементов складчатых структур: а — осевых поверхностей, б — сводовых поверхностей; 14 — проекции линейных элементов: а — минеральной линейности L_1 , б — шарниров складок Fm_2 , Fm_4 , в — генерализованного шарнира складок Fm_1 ; 15 — проекции генерализованных складчатых элементов: а — осевых плоскостей, б — траектории рассеивания. На диаграммах: а-б — элементы складчатых структур S_1 и L_1 , установленные в протолитах (а) и пирроповых эклогитах (б); в-г — элементы складчатых структур Fm_2 (в) и Fm_4 (г). Проекция на верхнюю полусферу равнополощадной сетки Шмидта

обтекание эклогитов более компетентными породами контролируется складчатостью Fm_1 . В изоклинально-складчатом матриксе Fm_2 морфология тел эклогитов обусловлена их количественным соотношением с ассоциирующими породами. В случае преобладания эклогитов, они, наряду с мигматитами, гранодиоритами и гранат-гастингситовыми плагиогнейсами, слагают пластообразные тела субмеридионального простирания протяженностью в несколько сот метров. На участках, где эклогиты играют резко подчиненную роль, они образуют субмеридиональные каскады будин север-северо-западного простирания среди мусковит-микроклиновых и плагиоклазовых гнейсов, либо картируются в виде субмеридиональных линз, формирующих ступенчатые уступы север-северо-западного простирания.

В качестве протолитов барруазитовых эклогитов предполагаются габбро-диабазы, реликты которых встречаются среди метаморфитов в южной части комплекса. Исходные породы для парагонитовых эклогитов устанавливаются по их геохимическому сродству с базальтами и андезибазальтами океанических дуг [13].

Амфиболиты представляют собой продукты ретроградного метаморфизма эклогитов, они структурно приурочены к границам “блок-композитов” и субмеридиональным зонам ламинарного течения S_2 . При этом по кианитовым эклогитам развиваются гранат-цоизитовые амфиболиты, которые связаны с первичными породами переходными участками бластомилонитизации. По барруазитовым и парагонитовым эклогитам образуются гранат-плагиоклазовые амфиболиты, а в качестве промежуточных разностей выступают пироксен-плагиоклазовые и амфибол-кварцевые симплектит-эклогиты.

Кристаллосланцы и плагиогнейсы являются наиболее распространенными породами в составе комплекса и характеризуются тесной структурной и пространственной связью с барруазитовыми и парагонитовыми эклогитами. В “блок-композитах” они смяты в складки Fm_1 и вмещают будины эклогитов. В изоклинально-складчатом матриксе плагиогнейсы и кристаллосланцы, тесно перемежаясь между собой и обтекая эклогиты, формируют субсогласные с Fm_2 пластообразные тела, объемная доля которых находится в обратной зависимости от количественной роли эклогитов. Главным образом эти породы представлены плагиоклаз-гранат-биотитовыми, плагиоклаз-гранат-двуслюдяными минеральными ассоциациями, дополняемыми кианитом, силлиманитом, амфиболом и эпидотом.

Полученные результаты позволяют восстановить дифференцированный разрез метабазитовой серии (снизу вверх): гранатовые перидотиты — кианитовые эклогиты — барруазитовые эклогиты — парагонитовые эклогиты — кристаллосланцы и плагиогнейсы. Петрохимическими исследованиями обнаруживаются тенденции изменения состава этих пород, которые отвечают толеитовой серии и характерны для полосчатых габброидных и вулканических комплексов офиолитовых ассоциаций островодужного типа [13]. Этот вывод согласуется с мнением ряда предыдущих исследователей, рассматривавших эклогиты марункеуского комплекса как производные высокобарического метаморфизма древней офиолитовой ассоциации [9].

В составе второй серии пород — *гранитоидной* (инъекционной) Н.Г. Удовкиной [15] выделяются три возрастных группы кислых интрузивов: рифейс-

кие (785–677 млн лет), каледонские (430–380 млн лет) и каледоно-герцинские (350–270 млн лет). Распределение пород данной серии также контролируется элементами внутренней структуры комплекса. Так, гранат-гастингситовые гнейсы, плагиограниты, гранодиориты, трондъемиты и мигматиты рифейского возраста приурочены к структурам Fm_1 . Они образуют согласные пластообразные, а в сводовых частях складок Fm_1 — подковообразные тела среди эклогитов и кристаллических сланцев. Микроклиновые, мусковит-микроклиновые и двуполевошпатовые граниты каледонской возрастной группы картируются в раздвиговых зонах третьего этапа деформаций в виде S-образных тел север-северо-восточного простирания (аз. $10-20^\circ$), погружающихся на юго-запад под углами в $60-70^\circ$. Вероятно, что к этой же фазе гранитизации относятся кианит-мусковит-кварцевые жилы, приуроченные к взбросовым зонам север-северо-западного направления. Каледоно-герцинские аплитовые двуслюдяные и двуполевошпатовые граниты образуют жилообразные тела, локализованные в сдвиговых зонах субмеридионального простирания.

Инъекционная природа гранитоидов подчеркивается их реакционными взаимоотношениями с метаморфитами дифференцированной серии. На контакте данных пород в metabазитах фиксируется проявление кремне-калиевого метасоматоза [4], при этом гранат-омфацитовые, гранат-плагиоклазовые парагенезисы замещаются кварц-мусковитовыми ассоциациями.

Проведенные структурно-петрологические исследования показали, что в метаморфической истории Марункеуского комплекса выделяются два этапа — протограднометаморфический и ретрограднометаморфический, которые сопоставляются с проявлением на Полярном Урале байкальского и герцинского циклов тектогенеза [5, 10]. Протограднометаморфический этап включает прогрессивный высокобарический метаморфизм древней офиолитовой ассоциации. Предполагается, что он связан с байкальской складчатостью и протекал в условиях субдукции фрагмента океанической коры под Харбейский континентальный блок.

Ретрограднометаморфический этап формирования Марункеусского комплекса связан с его коллизионным априфтом в верхние горизонты земной коры и сопряжен с герцинским циклом тектогенеза Уральской складчатой системы. Развитие этого процесса привело к развитию надвиговой системы восточного направления и совмещению на одном гипсометрическом уровне высокобарических производных трех разных комплексов единой офиолитовой ассоциации. Характер их пространственной локализации (см. рис. 1) позволяет трактовать современную структуру Марункеуского комплекса, по классификации К.Р. Мак Клея [15] как антиформный столб дуплексов (*antiformal stack of duplex*).

1. Добрецов Н.Л. Проблемы соотношения тектоники и метаморфизма // Петрология. 1995. — Т. 3, № 1. — С. 4–23.

2. Добржинецкая Л.Ф. Деформация магматических пород в условиях глубинного тектогенеза. М.: Наука, 1989. — 288 с.

3. Казаков А.Н. Динамический анализ микроструктурных ориентировок минералов. Л.: Наука, 1987. — 272 с.

4. *Ленных В.И.* Бластомилониты различных уровней метаморфизма в полиметаморфических комплексах Урала. // *Метаморфизм горных пород Урала*. Свердловск, 1979.— С.16–34.
5. *Ленных В.И.* Доуралиды зоны сочленения Восточно-Европейской платформы и Урала / *Метаморфизм и тектоника западных зон Урала*. Свердловск, 1984.— С. 21–42.
6. *Миллер Ю.В., Казаков И.К., Котов А.В.* Анализ метаморфических комплексов с позиции тектоно-метаморфических циклов — важнейший метод выявления и расчленения докембрия / *Докембрий в фанерозойских складчатых областях*. СПб.: Наука, 1992.— С. 55–72.
7. *Николя А.* Основы деформации горных пород. М.: Мир, 1992.— 168 с.
8. *Паталаха Е.И.* Генетические основы морфологической тектоники // *Алма-Ата*, 1981.— 180 с.
9. *Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна) / Добрецов Н.Л., Молдованцев Ю.Е., Казак А.П. и др.* Новосибирск, 1977.— 220 с.
10. *Пучков В.Н.* Палеоокеанические структуры Урала / *Геотектоника*, 1993. № 3.— С. 18–33.
11. Тектоническая расслоенность литосферы и региональные геологические исследования / *Белов А.А., Буртман В.С., Зинкевич В.П. и др.* М.: Наука, 1990.— 293 с.
12. *Тишин П.А.* Внутренняя структура марункеусского эклогит-амфиболит-гнейсового комплекса (Полярный Урал) // *Магматизм и геодинамика Сибири: Тез. докл. науч. конф.* Томск, 1996.— С.88–90
13. *Тишин П.А.* Петрохимическая направленность метаморфизма эклогитов и гранатовых перидотитов Марункеусского комплекса (Полярный Урал) // *Петрология магматических и метаморфических комплексов: Мат. науч. конф.* Томск, 2000.— С. 192–202.
14. *Удовкина Н.Г.* Эклогиты Полярного Урала. М.: Наука, 1971.— 191 с.
15. *Удовкина Н.Г.* Эклогиты СССР. М.: Наука, 1985.— 185 с.
16. *Mc Clay Glossary of thrust tectonics terms // Thrust tectonics.* London, Chapman & Hall, 1992.— 419–433 p.

Виявлено закономірності структурної позиції основних петрографічних типів метаморфічного комплексу.

It is established regularities of structural position of main petrographic types of metamorphic complexes