

КОРРЕЛЯЦИЯ И РАСЧЛЕНЕНИЕ ДОНЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА: СТРУКТУРНЫЙ АСПЕКТ

© 2018 г. И.Л. Потапов¹, К.С. Попвасев², А.М. Пыстин¹

¹ *Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар*

² *Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина*

Введение

На Приполярном Урале известен самый полный разрез тимано-североуральского докембрия. Он относительно хорошо изучен в процессе геологических съемок масштаба 1:50 000 в 60-х – 90-х годах прошлого столетия и геологического доизучения масштаба 1:200 000 в начале 21-го века. Однако многие вопросы геологии этого района остаются до сих пор не решенными или дискуссионными. Особенно это касается домезопротерозойского разреза, сложенного в различной степени метаморфизованными образованиями. В соответствии со схемой IV Уральского межведомственного стратиграфического совещания [14] в домезопротерозойской части разреза выделяются следующие стратиграфические подразделения: няртинский метаморфический комплекс (PR₁), маньхобеинская (RF₁), шокурьинская (RF₁) и пуйвинская (RF₂) свиты. При геологическом доизучении северной части Приполярного Урала [Иванов, 2002ф] был пересмотрен вопрос о возрасте метаморфических образований няртинского комплекса, которые были отнесены к нижнему рифею, а также отложенный маньхобеинской и шокурьинской свит. Они были условно (под вопросом) включены в разрез среднего рифея. Существует также представление, развиваемое одним из авторов настоящей публикации [8, 10], что няртинский комплекс, маньхобеинская и шокурьинская свиты, относятся к нижнепротерозойскому структурному этажу, а верхнедокембрийский разрез начинается с пуйвинской свиты среднего или, возможно, верхнего рифея. При этом маньхобеинская свита не является самостоятельным стратиграфическим подразделением, а представлена средне-низкотемпературными диафторитами по породам няртинского комплекса.

Существующая неопределенность возрастной позиции отдельных стратиграфических подразделений донеопротерозойского разреза Приполярного Урала определяет необходимость поиска дополнительных критериев для расчленения и корреляции этих образований. Перспективным направлением в решении этого вопроса может быть проведение структурных исследований с целью установления сходства и различий в структуре и структурной эволюции отдельных стратонтов.

Характеристика стратиграфических подразделений

Няртинский комплекс слагает ядро Хобеизкой блок-антиклинали, расположенной в северной части Ляпинского антиклинория (рис. 1). Он сложен гранатсодержащими биотитовыми и двуслюдяными гнейсами и кристаллическими сланцами, переслаивающимися с амфиболитами и амфиболсодержащими сланцами, а также продуктами их гранитизации (мигматитами). Отмечаются также редкие и маломощные прослои кварцитов и мраморов. Низкотемпературные диафториты имеют вид хлорит-мусковит-альбит-кварцевых, эпидот-альбит-хлорит-актинолитовых, кальцит-эпидот-хлоритовых сланцев. Внутренняя структура комплекса в целом может быть охарактеризована как антиформная. В центральной части комплекса, наименее измененной поздними процессами, отчетливо устанавливается изоклиальная складчатость. Осевые поверхности складок залегают субгоризонтально, шарниры имеют преимущественно северо-западную ориентировку [7]. Верхний возрастной рубеж пород няртинского комплекса определяется U-Pb датировкой метаморфогенных цирконов «гранулитового» типа — 2127 ± 31 млн лет, вычисленной по 44-м локальным определениям по верхнему пересечению дискордии с конкордией (см. статью А.М. и Ю.И. Пыстиных в настоящем сборнике).

Маньхобеинская свита представлена мусковит-альбит-кварцевыми и мусковит-кварцевыми кристаллическими сланцами с прослоями слюдисто-полевошпатовых кварцитов и эпидот-альбит-

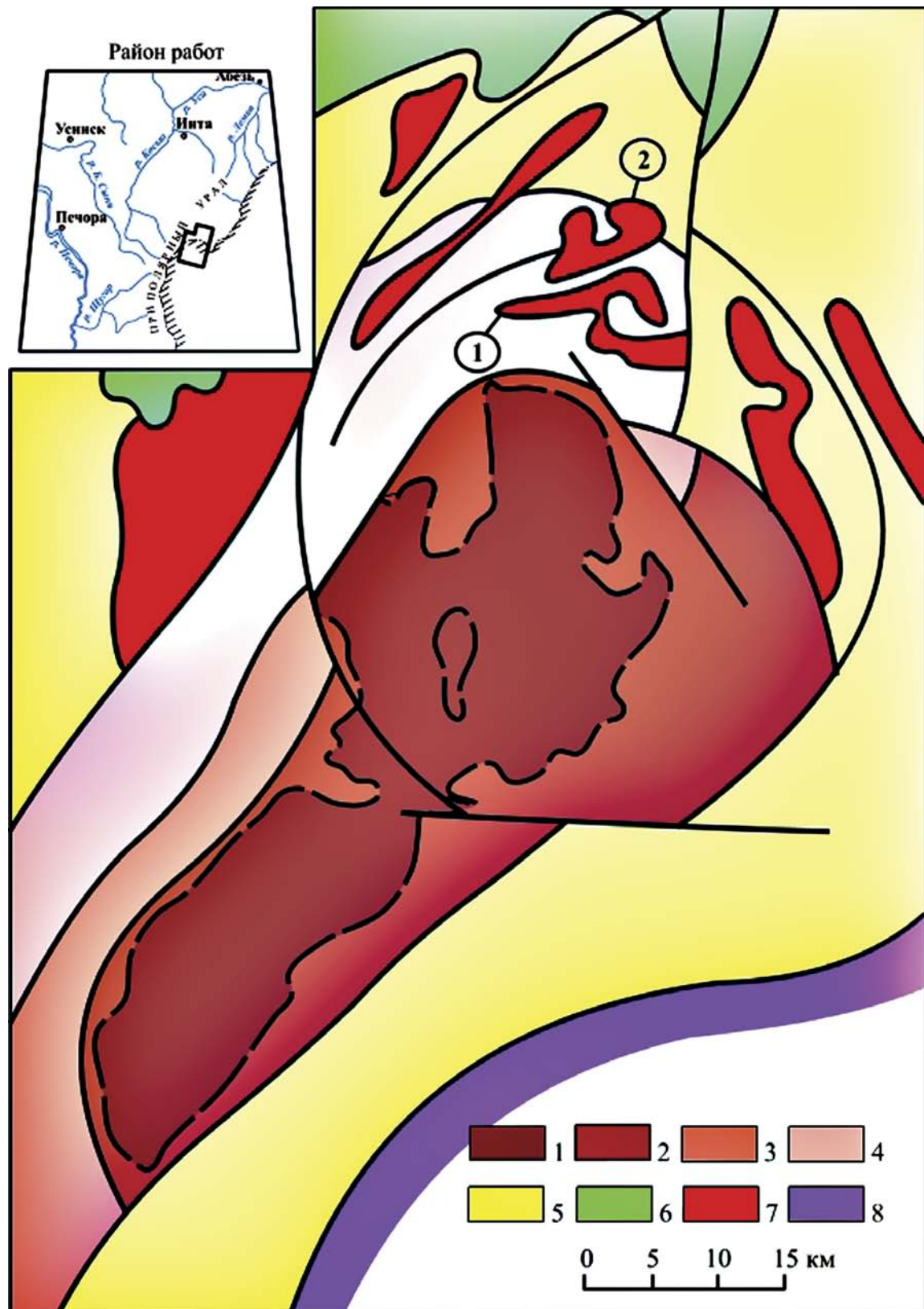


Рис. 1. Схема геологического строения северной части Приполярного Урала

1 — няртинский метаморфический комплекс (PR_1); 2 — маньхобеинская свита ($RF_1?$); 3 — шокуринская свита ($RF_1?$); 4 — пуйвинская свита ($RF_2?$); 5 — верхнерифейско-вендские отложения, нерасчлененные (RF_3-V); 6 — нижнепалеозойские отложения, нерасчлененные; 7 — граниты; 8 — нерасчлененные магматические комплексы зоны Главного Уральского надвига.

хлорит-актинолитовых сланцев. В ряде разрезов маньхобеинской свиты среди низкотемпературных метаморфических пород были выявлены реликты высокотемпературных метаморфитов (гранатовых амфиболитов и гранат-слюдяных кристаллических сланцев). На основании этих находок и других признаков в свое время был сделан вывод о том, что маньхобеинская свита выделена на месте участков развития низкотемпературных диафторитов по породам няртинского комплекса [7].

В составе шокуринской свиты преобладают карбонатсодержащие породы: слюдяные мраморы и известковые слюдяные кристаллические сланцы. Подчиненное значение имеют обычные для нижележащих толщ слюдистые и амфиболсодержащие сланцы и полевошпатовые кварциты. В породах шокуринской свиты так же, как и маньхобеинской, отмечаются реликты высокотемпературных метаморфических парагенезисов. Наличие высокотемпературных метаморфических пород, содержащих цирконы «гранулитового» типа дает основание для возрастной корреляции шокуринской свиты с няртинским комплексом [1, 10].

Пуйвинская свита залегает с размывом на отложениях шокуринской свиты. В разрезе, вскрытом на р. Кожим, севернее руч. Игшор, пуйвинская свита залегает на породах няртинского комплекса [7]. Отложения пуйвинской свиты сложены серыми и зеленовато-серыми слюдисто-альбит-кварцевыми сланцами с прослоями амфиболовых и известковистых сланцев и кварцитов. В подчиненном количестве встречаются риолитовые и дацитовые метапорфиры и их туфы [11, 15]. Основанием для возрастной датировки пород послужили находки строматолитов из прослоя доломитов, отнесенных М.Е. Раабен к роду *Tungusia*, известному в средне-верхнерифейском разрезе Сибири. Набор микрофоссилий, установленный Л.Н. Ильченко по материалам В.В. Терешко, послужил основанием считать возраст отложений среднерифейским [12]. Тем не менее, ненадежность датировок по микрофоссилиям оставляет проблематичным вопрос о точном возрасте пород пуйвинской свиты. Так, по мнению О.А. и А.Г. Кондаиных [2], литологическое сходство с велсовской свитой, датируемой поздним рифеем, одинаковая формационная принадлежность вулканогенных пород пуйвинской и велсовской свит и другие данные, дают основание поместить пуйвинскую свиту на миньярский уровень.

Основные сведения о метаморфизме пород

Минеральные парагенезисы, определяющие современный облик няртинского комплекса Приполярного Урала, отвечают условиям амфиболитовой фации умеренных давлений [6]. Аналогичные парагенезисы (в реликтах) установлены в породах маньхобеинской и шокуринской свит. В метаморфитах всех трех стратиграфических подразделений установлены цирконы «гранулитового» (округлые многогранники) и «мигматитового» (призматические кристаллы) типов [11, 12]. Первые из них образуются при высокотемпературном метаморфизме, достигающем условий гранулитовой фации, вторые — амфиболитовой фации и мигматизации [3]. Это указывает на то, что породы маньхобеинской и шокуринской свит испытали высокотемпературный метаморфизм, по-видимому, достигавший условий гранулитовой фации, а их современный облик (относительно низкотемпературных метаморфитов) обусловлен проявлением процессов диафтореза [9].

В вышележащих отложениях среднего (верхнего?) рифея, представленных здесь пуйвинской свитой, подобные (метаморфогенные) цирконы отсутствуют. Для них характерны окатанные (терригенные) цирконы со следами транспортировки. Породы метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации, а на границе средне-верхнерифейских и более древних отложений отмечается метаморфическое несогласие [6].

Структурные особенности пород

В породах няртинского комплекса и маньхобеинской свиты преобладают юго-западные простирания элементов плоскостных первичных неоднородностей главным образом полого падающих (под углами 10° – 30°) на северо-запад. Ближе к контактам с вышележащими отложениями породы комплекса превращены в низкотемпературные сланцы (бластомилониты). Реже встречаются северо-западные простирания с пологим падением на северо-восток. Шарниры в основном погружаются

на северо-запад и на запад под пологими (от 0° до 30°) углами, реже на северо-восток и юго-запад. Крылья сжатых и изоклиальных складок повторно смяты в цилиндрические асимметричные складки разной степени сжатости с круто ориентированными осевыми поверхностями и полого погружающимися шарнирами (рис. 2а, б). Шарниры погружаются под углами от 5° до 45° на северо-запад [5].



а



б



в



г

Рис. 2. Фотографии складок

а) Няртинский комплекс, левый берег р. Кожим в 45 м ниже впадения руч. Николай-Шор. Фрагмент подобной лежачей изоклиальной складки F_{n+1} , крылья сложены гнейсами, ядро сложено амфиболитами. Шарнир погружается по азимуту 290° под углом 15° . **б)** Маньхобеинская свита, левый берег первого левого безымянного притока руч. Хасаварка, в 1050 м от устья. Фрагмент закрытой асимметричной запрокинутой складки F_{n+2} , сложенной кварцитовым слоем в сланцах, видны фрагменты реликтовых изоклиальных складок F_{n+1} . **в)** Шокуринская свита, правый берег второго левого безымянного притока руч. Хасаварка, в 100 м от устья. В карбонатсодержащих кристаллических сланцах крутопадающее крыло асимметричной складки F_{n+2} деформировано в лежачие концентрические складки F_{n+4} , параллельно осевым плоскостям которых развита пологопадающая сланцеватость S_{n+4} . **г)** Пуйвинская свита, левый берег р. Кожим, в 2000 м ниже устья руч. Хасаварка. Прослой метаспорфира в хлорит-мусковит-альбит-кварцевых сланцах.

В породах няртинского комплекса и маньхобеинской свиты также выделяются открытые и пологие складки, деформирующие крылья ранних складок. Шарниры складок полого погружаются на север и юг. Осевые плоскости субвертикальны, простираются на север, падают на восток и запад. Замки таких складок часто заполняются кварцевым материалом с образованием седловидных жил.

Преобладающие ориентировки сланцеватости для шокуринской свиты характеризуются юго-восточным простиранием с углами падения от 5° до 60° на северо-запад и запад в восточном крыле Хобеизской блок-антиклинали, а в западном крыле — северо-восточным простиранием с углами падения от 15° до 45° на восток и юго-восток. Изоклиналильные складки встречаются очень редко, в реликтах. Наибольшее количество таких складок обнаруживаются в кварцитах и глыбовых развалах мраморов (рис. 2в), в сланцах их практически нельзя выделить. Повсеместное же распространение в шокуринской свите имеют асимметричные складки, по осевым поверхностям которых часто наблюдаются разрывы сплошности. В северо-восточной части распространения отложений свиты по крутопадающим крыльям и по осевым плоскостям асимметричных складок часто развиты открытые лежащие симметричные складки и сланцеватость, маркирующая осевые плоскости упомянутых складок.

В обнажениях пуйвинской свиты вскрываются главным образом фрагменты относительно монотонных сланцевых разрезов [7, 11]. Здесь отсутствует система ранних складок, аналогичных распространенным в няртинском комплексе. Имеют место также закрытые асимметричные складки (рис. 2г) с шарнирами, полого погружающимися на северо-запад. Параллельно осевой поверхности складок проявляется кливаж в виде полосчатости, подчеркивающейся тонкими кварцевыми и гранат-кварцевыми прожилками. Эти плоскостные структуры простираются на юго-восток с крутыми углами падения на северо-восток и юго-запад. Крылья складок сечет поздняя полого падающая сланцеватость под углами 5° – 15° на северо-запад. На крутопадающих крыльях иногда образуются небольшие открытые практически симметричные складки, с осевыми плоскостями, параллельными поздней сланцеватости.

Микроструктурные исследования пород няртинского комплекса и обрамляющих его свит заключались в определении ориентировок оптических осей кварца в шлифах, с применением универсального четырехосного столика Федорова на поляризационном микроскопе [4, 13]. Результаты замеров вынесены на сферическую диаграмму [16], построенную на равноугольной сетке (рис. 3).

Из пород няртинского комплекса для определения ориентировки оптических осей кварца был отобран ориентированный образец гнейса на контакте с амфиболитом. Контакт образует изоклиналильную складку с шарниром, полого погружающимся на северо-запад под углом 30 – 40° . Образец ориентирован по плоскости скольжения, которой выбрана плоскость крыла складки. На сферической диаграмме (рис. 3а) вынесенные оси ложатся в область, представляющую собой два симметричных пояса, осью вращения которой является направление скольжения. Максимум совпадает с петроструктурной осью **b**. Получившийся узор относится к так называемому второму «листеровскому» типу [13, 17]. По мнению авторов, упомянутых публикаций, широкий разброс фигуративных точек, фиксирующих выходы осей, характерен для пород, претерпевших метаморфизм высоких степеней.

Для пород маньхобеинской свиты для определения ориентировки оптических осей кварца взят ориентированный образец из кварцитсодержащих сланцев из крыла сильно сжатой складки с пологим погружением осевой плоскости, шарнир которой погружается на северо-запад под углом 15° . Плоскостью скольжения выбрана поверхность крыла складки. Полученный в результате узор, образуемый на диаграмме (рис. 3б), представляет собой первый «листеровский» тип. Осью поясов также служит петроструктурная ось **a**, в отличие от пород няртинского комплекса заключается в наличии двух максимумов, отстоящих от петроструктурной оси **b** на углы около 30° . При этом наблюдается небольшой разброс, две дуги практически сливаются, ближе к петроструктурной оси **c** происходит расщепление. Небольшой разброс, скорее всего, обусловлен переориентировкой осей при средне-низкотемпературном диафторезе пород.

Для микроструктурного анализа шокуринской свиты нами было взято два образца. Один из образцов отобран из кварцита в западной части Хобеизской антиклинали, второй взят в ее

восточной части из кварцитов. Оба отобраны из пологого погружающихся крыльев асимметричных складок. Плоскостями скольжения для обоих образцов выбраны плоскости, параллельные крыльям складок. На сферических диаграммах оптических осей кварца (рис. 3в, г) для обоих образцов выделяются два пояса, осью которых служит петроструктурная ось *a*, и два максимума отстоящих от петроструктурной оси *b* на средние углы. Полученные диаграммы схожи с таковой для маньхобеин-

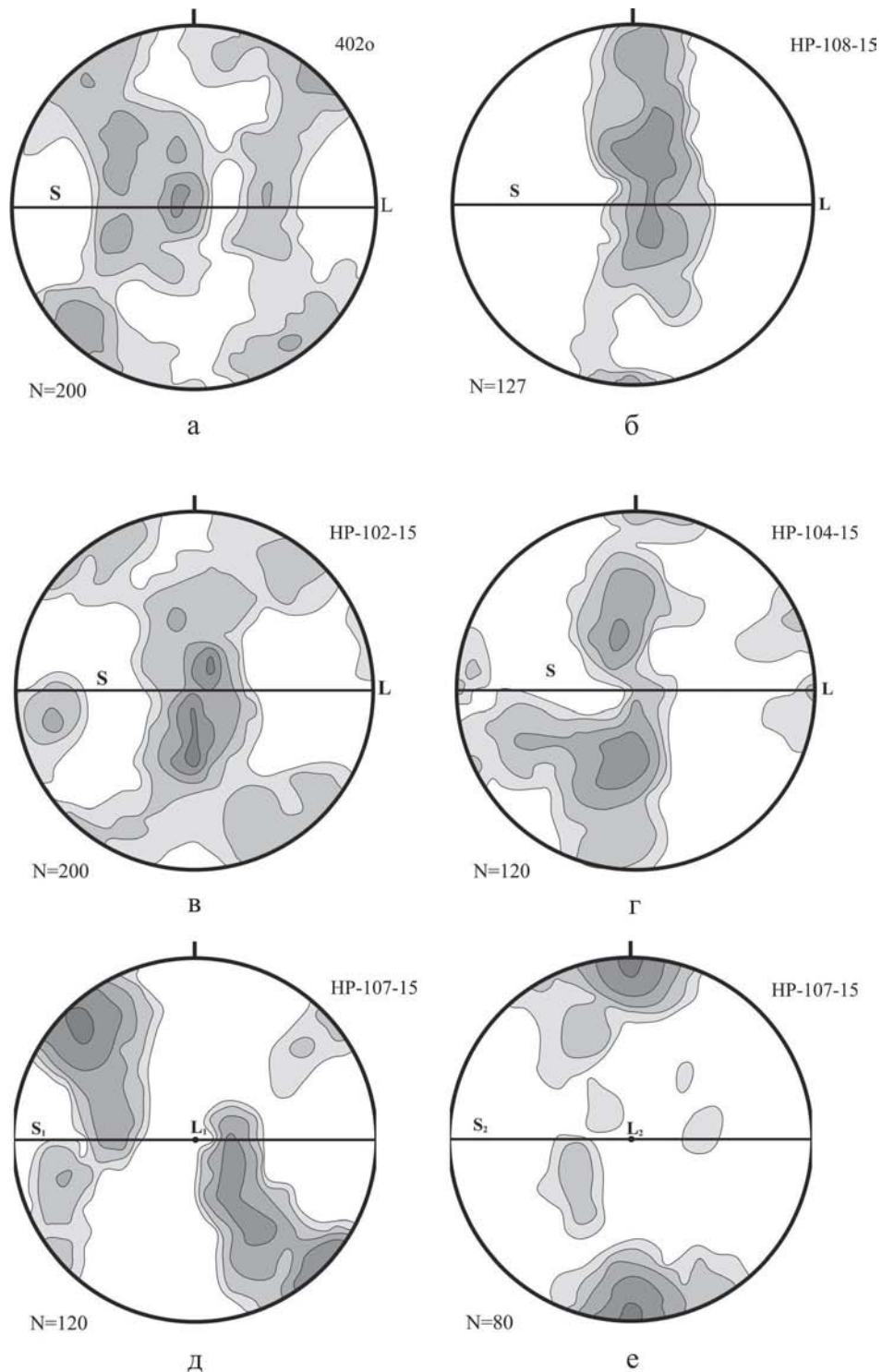


Рис. 3. Стереографические диаграммы оптических осей кварца

а — няргинский комплекс; б — маньхобеинская свита; в — шокуринская свита; г — пуйвинская свита. Равноугольная сетка, нижняя полусфера, N — число замеров.

ской свиты, т.е. представляет первый «листеровский» тип. Здесь также можно наблюдать асимметрию рисунка, особенно во втором образце из восточной части.

Для пород пуйвинской свиты был отобран ориентированный образец из рассланцованных кварц-хлорит-мусковитовых метапорфиров. Образец взят из круто ориентированного крыла складки, образованной прослоем метапорфиров. Шарнир складки погружается на северо-восток под пологим углом, осевая плоскость субвертикальна. Также здесь наблюдается поздняя секущая субгоризонтальная кристаллизационная сланцеватость. Оптические оси кварца сориентированы большей частью относительно плоскости скольжения (рис. 3в), совпадающей с субвертикальной осевой плоскостью складки, которая маркируется сланцеватостью-кливажем. Распределение имеет вид двух поясов, лежащих на малокруговые дуги с несколькими максимумами, осью дуг является петроструктурная ось *b*. Это объясняется межзерновыми вращательными движениями и дифференциальными скольжением параллельно оси складки при ее формировании [13]. Небольшая часть ориентировок оптических осей кварца связана с плоскостью скольжения, параллельной поздней сланцеватости, имеющей пологое падение, и которая сечет осевые поверхности и крылья выше упомянутой закрытой складки. На сферической диаграмме (рис. 3е) оптические оси кварца главным образом ложатся в область, совпадающую с петроструктурной осью *c*.

Обсуждение результатов

Таким образом, в структурно-деформационном плане няртинский комплекс, маньхобеинская и шокуринская свиты имеют определенное сходство и в то же время они существенно отличаются от пуйвинской свиты. Сходство перечисленных трех первых стратонів заключается, прежде всего, в том, что в разрезе маньхобеинской и шокуринской свит встречаются реликты изоклинальных складок — наиболее характерных структур няртинского комплекса. В пуйвинской свите следов данных складок не наблюдается, что однозначно выделяет эту свиту от упомянутых выше.

Позднедокембрийский этап геологического развития Приполярноуральского сегмента земной коры оставил отпечаток во всех породах рассмотренных стратиграфических подразделений, что сильно сnivelировало их структурные различия. С этим этапом связано формирование закрытых, главным образом асимметричных, иногда запрокинутых складок. В няртинском комплексе данные складки наблюдаются реже, главным образом, в породах, претерпевших ретроградный метаморфизм. Чаще такие складки можно наблюдать в породах маньхобеинской свиты, а также повсеместно в породах шокуринской и пуйвинской свит. Они сопровождаются развитием сланцеватости-кливажа осевой поверхности.

Палеозойские деформации наиболее отчетливо проявились в приразломных зонах, осложняющих контакты отложений пуйвинской свиты с ниже залегающими метаморфическими образованиями. Они заключаются в изгибании крутопадающих крыльев и осевых плоскостей ранних складок и развитии сланцеватости.

При микроструктурных исследованиях также выявлено определенное сходство в ориентировке оптических осей кварца для пород няртинского комплекса, маньхобеинской и шокуринской свит. В частности схожи рисунки сферических диаграмм для них, а отличие заключается в условиях, при которых протекала деформация пород. Для няртинского комплекса это была деформация пластического течения и протекала в условиях высокой степени метаморфизма и на больших глубинах. В породах маньхобеинской и шокуринской свит микроструктурные признаки высокотемпературной деформации, по-видимому, были завуалированы при перекристаллизации кварца во время диафореза метаморфических пород. Судя по наблюдаемым узорам, диаграммы отражают деформацию пород при относительно низких условиях метаморфизма. Асимметрия, в большей степени проявляющаяся для пород шокуринской свиты, говорит о влиянии сдвиговых составляющих в процессе их формирования [18]. Диаграммы оптических осей кварца для пуйвинской свиты существенно отличаются от рассмотренных выше. Здесь представляется существенная роль вращения и сдвига при складкообразовании ранее сформировавшихся или отложившихся зерен кварца. В породах данной свиты деформации, скорее всего, происходили при изначально слабом метаморфизме в условиях сравнительно низких температур.

Заключение

Таким образом, в макро- и микроструктурном планах породы няртинского комплекса, маньхобеинской и шокурьинской свит имеют много общего. Для них характерны пологозалегающие изоклинальные складки (в породах маньхобеинской и шокурьинской свит — реликты таких складок). Узор распределения оптических осей кварца, особенно для маньхобеинской и шокурьинской свит, практически совпадает, различия только в ширине рассеивания. Что касается пуйвинской свиты, то в структурном плане она находится на отдельном уровне, отличном от вышеназванных стратиграфических подразделений.

Из этого следует вывод о том, что няртинский комплекс, маньхобеинская и шокурьинская свиты могут быть отнесены к одному структурному уровню. Учитывая имеющиеся данные о возрасте пород няртинского комплекса, это нижнедокембрийский структурный этаж. Породы пуйвинской свиты, предположительно средне- верхнерифейского возраста, не несущие в себе признаки структур, характерных для вышеперечисленных образований, принадлежат другому, вышележащему верхнедокембрийскому структурному этажу.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 18-5-5-19.

Литература:

1. Глубинное строение Тимано-Североуральского региона / *Отв. ред. А.М. Пыстин.* — Сыктывкар: Геопринт, 2011. — 261 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М 1:1 000 000 (новая серия). Лист Q-40, 41 — Воркута: Объяснительная записка / *Отв. ред. О.А. Кондияйн.* — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. — 342 с.
3. Краснобаев А.А. Циркон как индикатор геологических процессов. — М.: Наука, 1986. — 152 с.
4. Лукин Л.И., Чернышев В.Ф., Кушнарев И.П. Микроструктурный анализ. — М.: Наука, 1965. — 123 с.
5. Потапов И.Л., Повасев К.С. Геолого-структурная эволюция докембрийских пород Приполярного Урала на основе изучения макроструктур и микроструктурного анализа // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: Матер. Всерос. науч. конф. с международным участием. — Сыктывкар: Геопринт, 2017. — С. 175—178.
6. Пыстин А.М. Карта метаморфизма Приполярного и южной части Полярного Урала: Серия препринтов «Научные доклады». — Сыктывкар: Коми НЦ УрО АН СССР, 1991. — Вып. 259. — 20 с.
7. Пыстин А.М. Полиметаморфические комплексы западного склона Урала. — СПб.: Наука, 1994. — 208 с.
8. Пыстин А.М., Пыстина Ю.И., Потапов И.Л., Панфилов А.В., Вишивцев А.Н. Нижний докембрий Приполярного Урала. — Сыктывкар: Геопринт, 2010. — 44 с.
9. Пыстин А.М., Пыстина Ю.И., Потапов И.Л., Панфилов А.В. Раннедокембрийская история метаморфизма пород гранулитовых и эклогитовых комплексов палеоконтинентальной зоны Урала. — Сыктывкар: Геопринт, 2012. — 46 с.
10. Пыстин А.М., Пыстина Ю.И. Базальные отложения верхнего докембрия в Тимано-Североуральском регионе // Литосфера. — 2014. — № 3. — С. 41—50.
11. Пыстина Ю.И. Минералогическая стратиграфия метаморфических образований Приполярного Урала. — Екатеринбург: УрО РАН, 1997. — 124 с.
12. Пыстина Ю.И., Пыстин А.М. Цирконовая летопись уральского докембрия. — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2002. — 167 с.
13. Родыгин А.И. Микроструктурный анализ кварца. — Томск: Изд-во ТГУ, 1994. — 217 с.
14. Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). — Екатеринбург: Уралгеолком, 1994.
15. Юдович Я.Э., Мерц А.В., Пыстин А.М. Контрастно-зональные гранаты в кислых метатупах из рифейских отложений Приполярного Урала // Народное хозяйство Республики Коми. — 1992. — Т. 1, № 3. — С. 492—504.
16. Allmendinger R.W., Cardozo N., Fisher D. Structural Geology Algorithms: Vectors and Tensors. — Cambridge: Cambridge University Press, 2012. — 302 p.
17. Lister G.S., Hobbs B.E. The simulation of fabric development during plastic deformation and its application to quartzite: influence of deformation history // Jour. Struct. Geol. — 1980. — V. 2. No 3. — P. 335—370.
18. Law R.D., Casey M., Knipe R.J. Kinematic and tectonic significance of microstructures and crystallographic fabrics within quartz mylonites from the Assynt and Eriboll regions of the Moine thrust zone, NW Scotland // Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences. — 1986. — V. 77. — P. 99—125.