

На правах рукописи



**СЫЧЕВ Сергей Николаевич**

**СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗОНЫ ГЛАВНОГО УРАЛЬСКОГО РАЗЛОМА  
(ЮЖНАЯ ЧАСТЬ ПОЛЯРНОГО УРАЛА)**

Специальность 25.00.01 – общая и региональная геология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва  
2015

Работа выполнена на геологическом факультете Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет»

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,  
заведующий кафедрой региональной геологии  
Института наук о Земле ФГБОУВПО "СПбГУ"  
**Худолей Андрей Константинович**

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник,  
профессор кафедры региональной геологии и  
истории Земли геологического факультета  
ФГБОУВПО "МГУ им. М.В. Ломоносова"  
**Тевелев Александр Вениаминович**

кандидат геолого-минералогических наук,  
зам. начальника Управления региональной  
геологии и оценки проектов на шельфе,  
Департамент ГРП на шельфе,  
ОАО "НК "Роснефть"  
**Вержбицкий Владимир Евгеньевич**

Ведущая организация: Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
**Институт геологии Коми НЦ УрО РАН**  
(г. Сыктывкар)

Защита состоится 29 января 2015 года в 14-30 на заседании диссертационного совета Д 002.215.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте РАН по адресу: 119017, г. Москва, Пыжевский переулок, д. 7.

С диссертацией можно ознакомиться в отделении геологической литературы БЕН РАН по адресу: 119037, г. Москва, Старомонетный пер., 35, ИГЕМ РАН и на сайте ГИН РАН:  
<http://www.ginras.ru/struct/21/20/dis.php>.

Автореферат разослан «        » декабря 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 002.215.01  
при Геологическом институте РАН  
доктор геолого-минералогических наук

М.В. Лучицкая

### **Актуальность работы**

Уральский складчатый пояс, как и многие коллизионные орогены, имеет в своем строении сутурную зону – Главный Уральский разлом (ГУР), который маркирует границу между западными палеоконтинентальными и восточными палеоокеаническими образованиями. В южной части Полярного Урала вдоль ГУР протягиваются Войкаро-Сынинский и Рай-Изский офиолитовые массивы. На их контакте с палеоконтинентальными образованиями за многие десятилетия было проведено большое количество геологических работ, в которых принимали участие известные исследователи Уральского складчатого пояса (Войновский-Кригер, 1945; Молдаванцев, Перфильев, 1962; Молдаванцев, 1973; Перфильев, 1968; 1979; Добрецов, 1974; Дергунов, Казак, Молдаванцев, 1975; Дергунов, Молдаванцев, 1976; Казак, Добрецов, Молдаванцев, 1976; Ленных, Пучков, Вализер, 1976; Петрология и метаморфизм..., 1977; Ленных, Перфильев, Пучков, 1978; Ленных, Вализер, Пучков, 1979; Ефимов, Рябкова, 1979; Пучков, 1979; Савельев, Самыгин, 1979; Ефимов, 1984; Савельева, 1987; Вализер, Ленных, 1988; Ефимов, Потапова, 1990, 2000; Потапова, 1990; Пыстин, 1994; Ремизов, 2004 и др.). В работах, посвященных строению западного обрамления офиолитовой ассоциации, приводятся различные точки зрения как по поводу тектонической позиции метаморфитов, так и по расположению ГУР. Главный Уральский разлом в южной части Полярного Урала проходит в западном обрамлении выходов пальникшорской толщи. Подошва ГУР маркируется полосой глаукофановых сланцев, а так же серпентинитовым меланжем, а зона ГУР включает в себя пальникшорскую толщу и интенсивно метаморфизованные породы дзеляюского комплекса. Есть все основания полагать, что отдельные блоки в составе сложно построенной зоны ГУР были образованы в разных условиях и лишь позднее совмещены тектонически. Выявление их соотношений имеет большое значение для геологических исследований и постановки поисковых задач в изучаемом регионе.

### **Цели и задачи работы**

Целью работы является уточнение геологического строения и тектонической эволюции структур и комплексов южной части Полярного Урала на основе оригинальных исследований структурно-кинематических парагенезов, петрологических и магнитных характеристик пород и обобщение уже имеющихся данных.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Составить геологические схемы и разрезы опорных участков, а также провести анализ вещественного состава и структурного положения геологических единиц зоны Главного Уральского разлома;
2. Определить стадийность формирования зоны Главного Уральского разлома с применением методик структурного анализа;
3. Установить деформационные характеристики комплексов на основе данных об анизотропии магнитной восприимчивости и сопоставить с данными структурных наблюдений;
4. Выявить одновременные метаморфические парагенезисы и связать их со стадиями структурного изменения пород;
5. Сделать обоснованные предположения о возрасте коллизионных преобразований структур и комплексов южной части Полярного Урала.

### **Научная новизна**

Впервые детально изучены структурные, магнитные и микроструктурные характеристики геологических образований зоны ГУР в южной части Полярного Урала. По результатам интерпретации полученных данных выявлена многостадийность эволюции региона (8 стадий де-

формационного процесса). Уточнено геологическое строение и тектоническая принадлежность сложнодеформированных метаморфических комплексов, слагающих зону ГУР. Установлена приуроченность минеральных парагенезисов метаморфических комплексов к определенным стадиям деформаций и этапам коллизионного процесса.

**Теоретическое и практическое значение работы** заключается в развитии представлений о геологическом строении изучаемого района. Выявленные деформационные и петрологические характеристики важны для составления геологических карт и легенд нового поколения, расшифровки истории геологического развития региона и металлогенического прогнозирования. Результаты исследований нашли отражение на геологической карте и в тексте объяснительной записки Госгеокарты-200 (второе издание) листов Q-41-XVI; Q-41-XVII; Q-41-XXI, XXII.

#### **Защищаемые положения**

1. На основании изучения структурных форм различного типа и кинематики установлена многостадийность деформаций зоны Главного Уральского разлома и прилегающих тектонических единиц. Выявлено, что в процессе эволюции надвиговые деформации сменялись сдвиговыми.

2. По результатам структурного анализа с учетом данных анизотропии магнитной восприимчивости для зоны Главного Уральского разлома выделено восемь стадий деформационного процесса, из которых региональное распространение имеют стадии  $D_2$ ,  $D_4$ ,  $D_5$ ,  $D_6$ ,  $D_7$  и  $D_8$ , а локальное –  $D_1$  и  $D_3$ .

3. В дотриасовую эпоху (герцинский тектогенез) в южной части Полярного Урала преобладали пластические деформации, а начиная с триаса (раннекиммерийский тектогенез) – хрупкие.

#### **Фактический материал**

В основу диссертационной работы положены материалы, собранные автором в ходе полевых работ 2007-2009 гг. в составе Войкарской партии ФГУП «ВСЕГЕИ» и в 2009, 2011 гг. совместно с отрядом Института геологии Коми НЦ УрО РАН. В полевых условиях производились замеры мезоструктурных элементов: шарниров мелкой складчатости, плоскостей сопряженных трещин и т.д. (~2500 шт); отбор ориентированных образцов и сколковых проб (~100 шт) для изучения магнитных и петрографических характеристик, а также микрозондовых анализов. Для исследования анизотропии магнитной восприимчивости пород из ориентированных образцов были выпилены кубы (~150 шт), от одного до четырех штук в зависимости от размера образца, которые проанализированы на приборе KLY-4S (AGICO) с помощью программы Anisoft 4.2 (M. Chadima). Для интерпретации магнитных и мезоструктурных характеристик строились азимутальные проекции при помощи программы QuickPlot 3.0 (D. V. Everdingen). Так же было проведено изучение шлифов и сколковых проб (~100 шт), на котором основана петрологическая характеристика пород. По результатам обработки данных микрозондовых определений получены составы минералов и проанализированы их фазовые соотношения.

#### **Структура работы**

Диссертация объемом 156 страниц состоит из введения, пяти глав и заключения, содержит 66 рисунков и 13 таблиц. Список использованной литературы включает 219 наименований (в том числе 28 на английском языке).

#### **Публикации и апробация работы**

По теме диссертации опубликовано 25 работ, в том числе, 4 статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, 1 работа в рецензируемом сборнике статей и 4 авторские главы в монографиях (3 из которых в объяснительной записке к Госгеокарте-200).

Различные аспекты работы докладывались на: научной конференции «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента», Сыктывкар, 2008-2012; Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, посвященной памяти академика А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, 2009, 2011, 2013; XV и XVI Геологическом съезде Республики Коми, Сыктывкар, 2009, 2014; XLIII и XLVI Тектоническом совещании (МТК), Москва, 2010, 2014; XI Петрографическом совещании, Екатеринбург, 2010; VII Южноамериканском симпозиуме по изотопной геологии, Бразилиа, 2010; Международной конференции, посвященной памяти В. Е. Хаина, Москва, 2011.

### **Благодарности**

Автор искренне признателен научному руководителю профессору СПбГУ А.К. Худолею и руководителю лаборатории петрографии Института геологии Коми НЦ УрО РАН К.В. Куликовой за постоянную поддержку и помощь на основных этапах выполнения работы. Автор особенно благодарен за неоднократные обсуждения результатов исследований и конструктивную критику Д.Н. Ремизову, М.А. Шишкину, С.Ю. Петрову (ВСЕГЕИ), С.И. Григорьеву, Г.С. Бискэ, В.Н. Войтенко (СПбГУ), А.В. Рязанцеву (ГИН РАН), О.В. Удоратиной (ИГ Коми НЦ УрО РАН), также благодарен за консультации С.Д. Соколову, М.Л. Баженову, Г.Н. Савельевой, Е.В. Хаину, А.А. Федотовой, Н.Б. Кузнецову (ГИН РАН), В.И. Ракину, А.А. Соболевой (ИГ Коми НЦ УрО РАН), А.В. Тевелеву, Н.С. Фроловой (МГУ), В.Р. Шмелеву (ИГГ УрО РАН), А.А. Цыганкову (ГИН СО РАН), Э. Миллер (Стэнфордский университет, США), М. Мартинсу, Г. Куеироге (Федеральный университет штата Минас-Жерайс, Бразилия) и Ф.-Ц. Мону (Институт геологии Китайской академии наук). Автор признателен Р.В. Веселовскому (МГУ) за ценные советы в области петромагнетизма и измерение анизотропии магнитной восприимчивости пород. Неоценимую помощь во всех начинаниях, связанных с геологией, оказала помощник декана Т.В. Гордеева, светлая память о которой жива в сердце автора.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

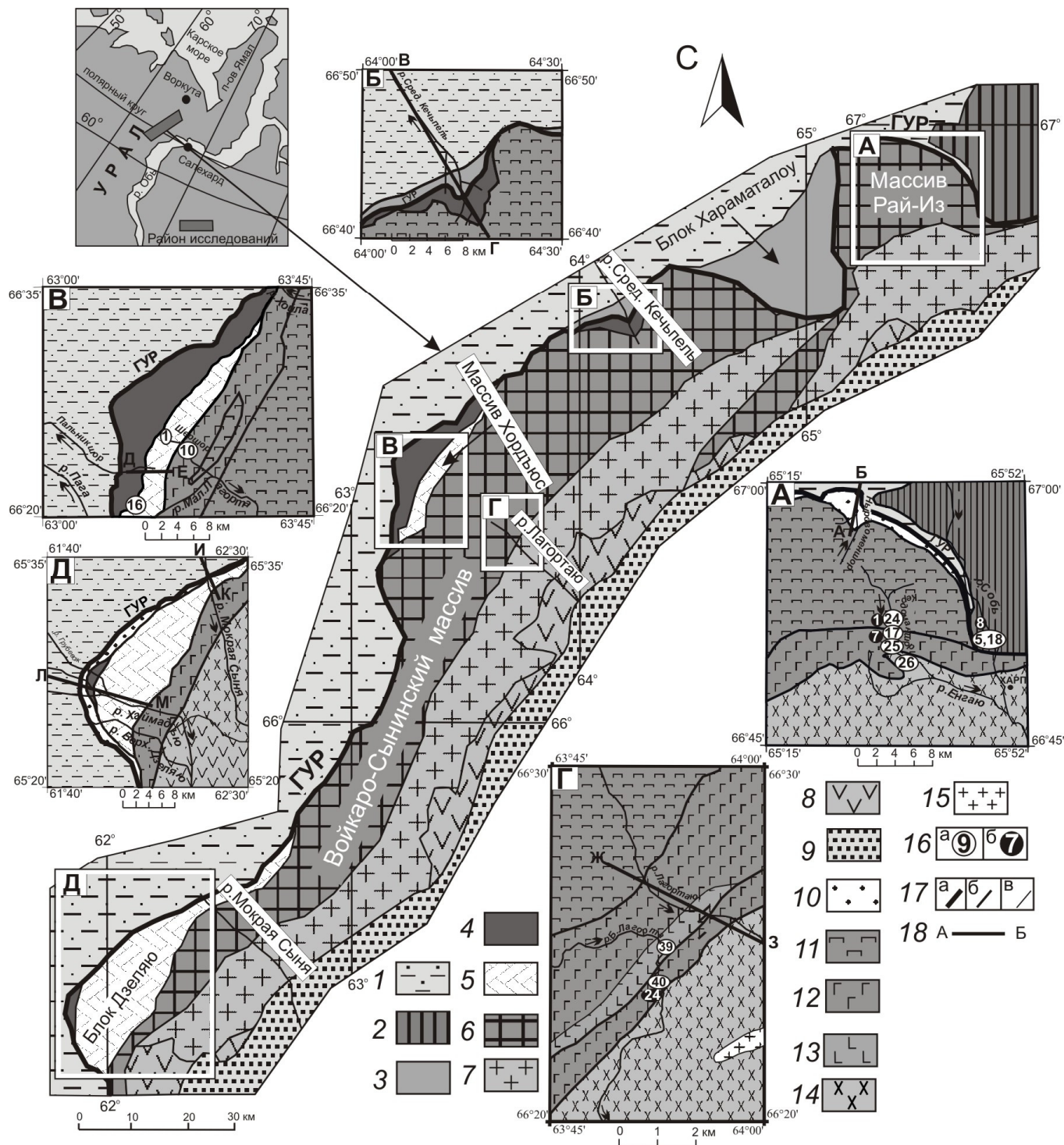
### **Глава 1. Геологическое строение южной части Полярного Урала**

Глава содержит краткий обзор тектоники и стратиграфии Западно-Уральской, Центрально-Уральской и Тагило-Магнитогорской мегазон южной части Полярного Урала (рис. 1). В пределах Западно-Уральской мегазоны рассматривается Лемвинская зона, состоящая из рифтогенных вулканитов, осадков континентального склона и подножия пассивной окраины Восточно-Европейского континента (ВЕК). Обсуждается геология докембрийских метаморфических образований Харбейского и Хараматалоуского блоков, приуроченных к Центрально-Уральской мегазоне. Анализируется строение габбро-гипербазитовых массивов Хордьюс, Дзеляю, Рай-Из и Войкаро-Сынинского, а также Войкарского вулcano-плутонического пояса, которые относятся к Тагило-Магнитогорской мегазоне.

### **Глава 2. Геология зоны Главного Уральского разлома и его обрамления**

Строение зоны Главного Уральского разлома изучалось на опорных участках **массива Рай-Из** (рис. 1А), **реки Средний Кечьпель** (рис. 1Б), **массива Хордьюс** (рис. 1В), **реки Мокрая Сыня и блока Дзеляю** (рис. 1Д), а также исследования проводились в районе сочленения офиолитовых и палеоостроводужных комплексов (**река Лагортаю**) (рис. 1Г).

Зона Главного Уральского разлома в северном и северо-восточном обрамлении **массива Рай-Из**, в долине ручья Нырдовоменшор (рис. 1А), представлена мощной (до 2 км) полосой полимиктового серпентинитового меланжа, где встречены округлые глыбы и валуны серпентинизированных дунитов и гарцбургитов, измененные в зеленосланцевой фации базальты и их туфы,

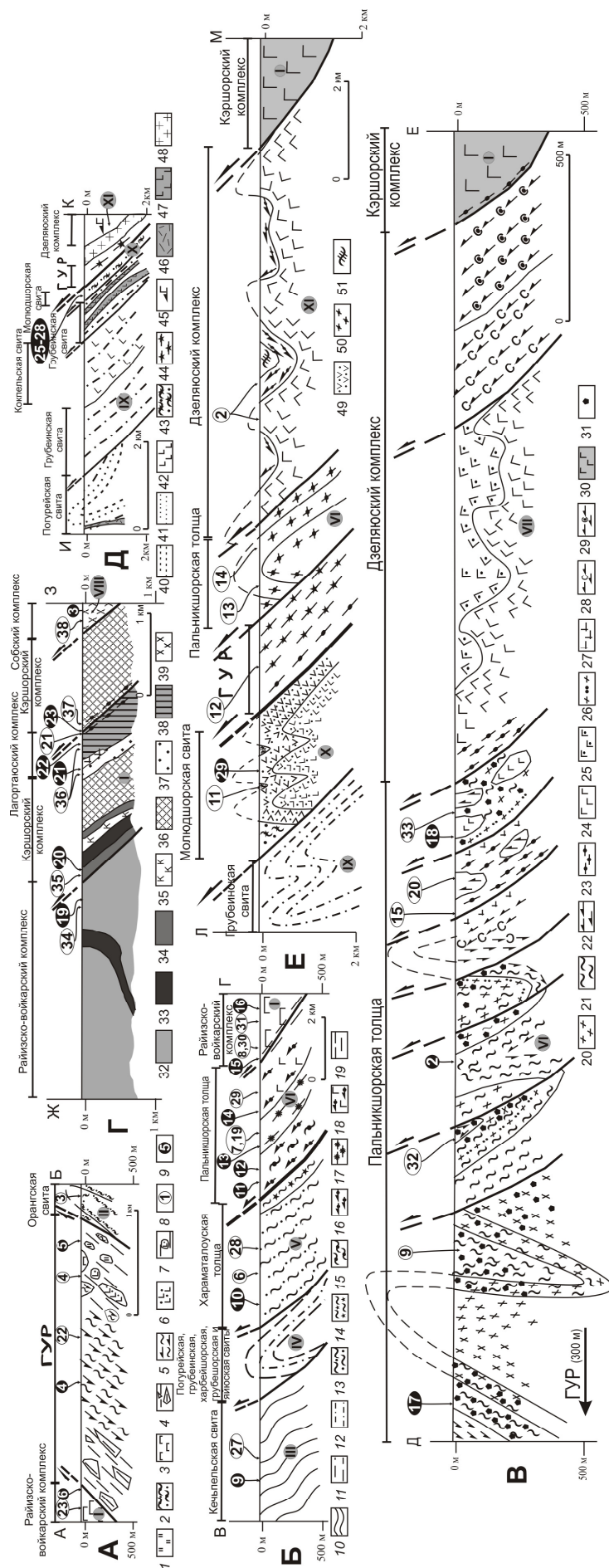


**Рис. 1. Схема геологического строения южной части Полярного Урала и участков исследований, по (Государственная геологическая..., 2007), с изменениями автора.**

1 – формации палеозойской пассивной окраины Восточно-Европейского континента; 2 – докембрийские метаморфические образования Харбейского блока; 3 – докембрийские метаморфические образования Хараматалоуского блока; 4 – метаморфиты зоны Главного Уральского разлома (пальникшорская толща); 5 – метаморфизованные ультраосновные и основные породы (дзеляюский комплекс ( $V_1$ ?)); 6 – габбро-гипербазитовые офиолитовые массивы; 7 – девонские островодужные гранитоиды; 8 – островодужные вулканогенно-осадочные образования позднесилурийско-девонского возраста; 9 – мезозойско-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты; 10 – серпентинитовый меланж зоны Главного Уральского разлома; 11 – райизско-войкарский комплекс ( $V_1$ ?); 12 – кэршорский комплекс ( $O_3$ ); 13 – лагортаюский комплекс ( $O_3-S_1$ ?); 14 – собский комплекс ( $D_{1-2}$ ); 15 – янослорский комплекс ( $D_3$ ); 16 – номера азимутальных проекций: а – мезоструктурных элементов (рис. 3), б – главных осей эллипсоидов анизотропии магнитной восприимчивости (рис. 7); 17 – разрывные нарушения и геологические границы: а – Главный Уральский разлом, б – прочие разломы, в – интрузивные контакты; 18 – линии разрезов (рис. 2).

долериты, кремнистые породы и углисто-кремнистые сланцы, а выше по ручью наблюдается полоса (до 400 м) амфиболовых кристаллосланцев (рис. 2А). В районе **реки Средний Кечпель** (рис. 1Б) зона ГУР представлена динамометаморфитами пальникшорской толщи (возраст толщи условно принимается позднерифейским по аналогии с породами ивтысьшорской свиты, но вероятно, что этот комплекс пород, выделяемый как толща, является не стратиграфическим подразделением, а тектонической единицей, включающей в себя подвергшиеся интенсивному динамометаморфизму различные толщи бимодальной вулканогенной ассоциации), сложенной переслаиваемыми зелеными и глаукофановыми сланцами, гранат-глаукофановыми кристаллосланцами, клиноцоизитовыми и гранатовыми амфиболитами, кристаллосланцами переменного состава и бластомилонитами (рис. 2Б). Главный Уральский разлом в районе **массива Хордьюс** (рис. 1В) маркируется полосой глаукофановых сланцев, а пальникшорская толща имеет более сложное строение и разнообразный состав, а также менее выраженную зональность (рис. 2В). Дзеляюский комплекс (возраст комплекса определяется как ранневендский по данным Th-U-Pb изотопного датирования цирконов (Remizov, Pease, 2004)), разграничивается на западную зону, представленную высокостронциевыми габброноритами, метагабброидами и друзитами, и восточную, сложенную низкостронциевыми гранат-клиноцоизит-амфиболовыми кристаллосланцами и клиноцоизитовыми амфиболитами. В районе **реки Мокрая Сыня** (рис. 1Д) зона ГУР диагностируется по наличию глаукофановых сланцев и плагиогранитов погурейского комплекса (возраст комплекса условно принимается как позднекаменноугольно-раннепермский) в западном ограничении дзеляюского комплекса (рис. 2Д). На участке **блока Дзеляю** (рис. 1Д) подошва ГУР представлена полосой тектонитов, в их строении наблюдается четкая зональность: западная полоса имеет ширину 400-800 м и сложена преимущественно зелеными апобазальтовыми бластомилонитами, восточная (1-2 км) сложена апобазальтовыми и апогаббро-амфиболитовыми глаукофанитами (рис. 2Е). Пальникшорская толща на данном участке представлена гранат-амфибол-кварц-альбитовыми кристаллосланцами, а дзеляюский комплекс сложен гипербазитами, габброноритами, метагабброидами, двупироксеновыми гранулитами, амфиболитами и гранат-клиноцоизит-амфибол-плагиоклазовыми кристаллосланцами.

Исследование обрамления зоны ГУР проводилось в пределах Лемвинской зоны (аллохтона), где изучались парасланцы орангской свиты ( $O_{1-2}$ ), вулканогенно-осадочные образования молдшорской свиты ( $O_{2-3}$ ) и флишoidы кечпельской свиты ( $C_3-P_1$ ). В Харбейском блоке исследовались кристаллосланцы няровейской серии ( $RF_2$ ), а в Хараматалоуском блоке сланцы хараматалоуской толщи ( $RF_2$ ). В Войкарской зоне (аллохтоне) рассматривается дунит-гарцбургитовый райизско-войкарский комплекс (данные U-Pb и Re-Os изотопного датирования выявляют ранневендские магматические события в формировании комплекса (Савельева и др., 2006; Батанова и др., 2007)), дунит-верлит-клинопироксенит-габбровый кэршорский комплекс (возраст комплекса определяется как позднеордовикский по данным U-Pb изотопного датирования цирконов (Ремизов и др., 2010), габбро-долеритовый лагортаюнский комплекс параллельных даек (данные U-Pb изотопного датирования практически точно согласуется с данными о возрасте вмещающих габброидов кэршорского комплекса (Ремизов и др., 2012)), но не исключены и более молодые (раннесилурийские) возрасты (Queiroga et al., 2010)) и тоналитовый собский комплекс (Rb-Sr и U-Pb-методы изотопного датирования обнаруживают ранне-среднеордовикские возрасты комплекса (Геохимия изотопов..., 1983; Удоратина и др., 2008; Ремизов и др., 2009)).



**Рис. 2. Геологические разрезы через зону Главного Уральского разлома (расположение указано на рис. 1).**

1 – фтаны; 2 – серицит-альбит-кварц-хлоритовые сланцы; 3 – гипербазиты; 4 – брекчированные и рассланцованные серпентиниты; 5 – амфиболовые кристалло-сланцы; 6 – долериты, базальты и их туфы; 7 – серпентинитовый меланж; 8 – места проведения замеров структурных элементов (цифры обозначают номер азимутальной проекции на рис. 3); 9 – точки отбора образцов для анализа анизотропии магнитной восприимчивости и их номера (азимутальные проекции приведены на рис. 7); 10 – флиш; 11 – аргиллиты; 12 – алевролиты; 13 – зеленые и углеродистые сланцы с простоями амфиболитов; 14 – эпидиот-глаукофановые сланцы; 15 – гра-нат-глаукофановые кристаллосланцы; 16 – гранатовые амфиболиты; 17 – глаукофановые кристаллосланцы; 18 – клиноизитовые амфиболиты с линзами метагаб-броидов; 19 – милониты; 20 – амфибол-эпидиот-кварц-альбитовые кристаллосланцы; 21 – альбит-хлорит-актинолитовые сланцы; 22 – амфиболиты; 23 – бластомило-ниты; 24 – габбронориты; 25 – метагабброиды и друзиты; 26 – метаспесчаники; 27 – плагиограниты; 28 – клиноизитовые амфиболиты; 29 – гранат-клиноизит-амфиболовые кристаллосланцы; 30 – амфиболитизированные дуниты, верлиты, клинопироксениты, габбро; 31 – гранат; 32 – гарцбургиты; 33 – дуниты; 34 – дуниты и верлиты; 35 – клинопироксениты; 36 – габбронориты, габбро пироксеновое и амфиболовое; 37 – изотропное габбро; 38 – параллельные дайки долеритов; 39 – дио-риты; 40 – гравелиты; 41 – песчаники; 42 – базальты; 43 – плагиоклаз-кварц-хлоритовые сланцы; 44 – глаукофановые сланцы; 45 – метагабброиды и гранатовые ам-фиболиты; 46 – риолиты пожемынского комплекса ( $C_3-O_1$ ); 47 – долериты оранжево-красные кристаллосланцы; 51 – двупироксеновые гранулиты.

Римскими цифрами в кружках обозначены: I – Пайерская пластина; II – Оранжевая пластина; III – Пальникшорская пластина; IV – Верхнехорватский покров и Гру-бешорская пластина; V – Хараматалуская пластина; VI – Пайерская пластина; VII – Хордынская пластина; VIII – Западный покров; IX – Приводо-раздельный покров; X – Иждейганская пластина; XI – Дзелянская пластина.

### **Глава 3. Структурно-тектоническая характеристика зоны Главного Уральского разлома и сопряженных с ним геологических единиц**

История изучения надвиговых и сдвиговых деформаций Уральского орогена насчитывает около 100 лет (Карпинский, 1919; Кузнецов, Захаров, 1926; Фредерикс, 1927; Нейман-Пермякова, 1931; Архангельский, 1932; Войновский-Кригер, 1945; Камалетдинов, 1962, 1965, 1974; Плюсин, 1962, 1964, 1966; Херасков, Перфильев, 1963; Перфильев, 1968, 1979; Пучков, 1973, 1979 и др.). В настоящей работе основное внимание уделяется комплексному изучению геометрических характеристик структур и анизотропии магнитной восприимчивости.

#### **3.1 Структурно-геометрические исследования складчатых и разрывных нарушений**

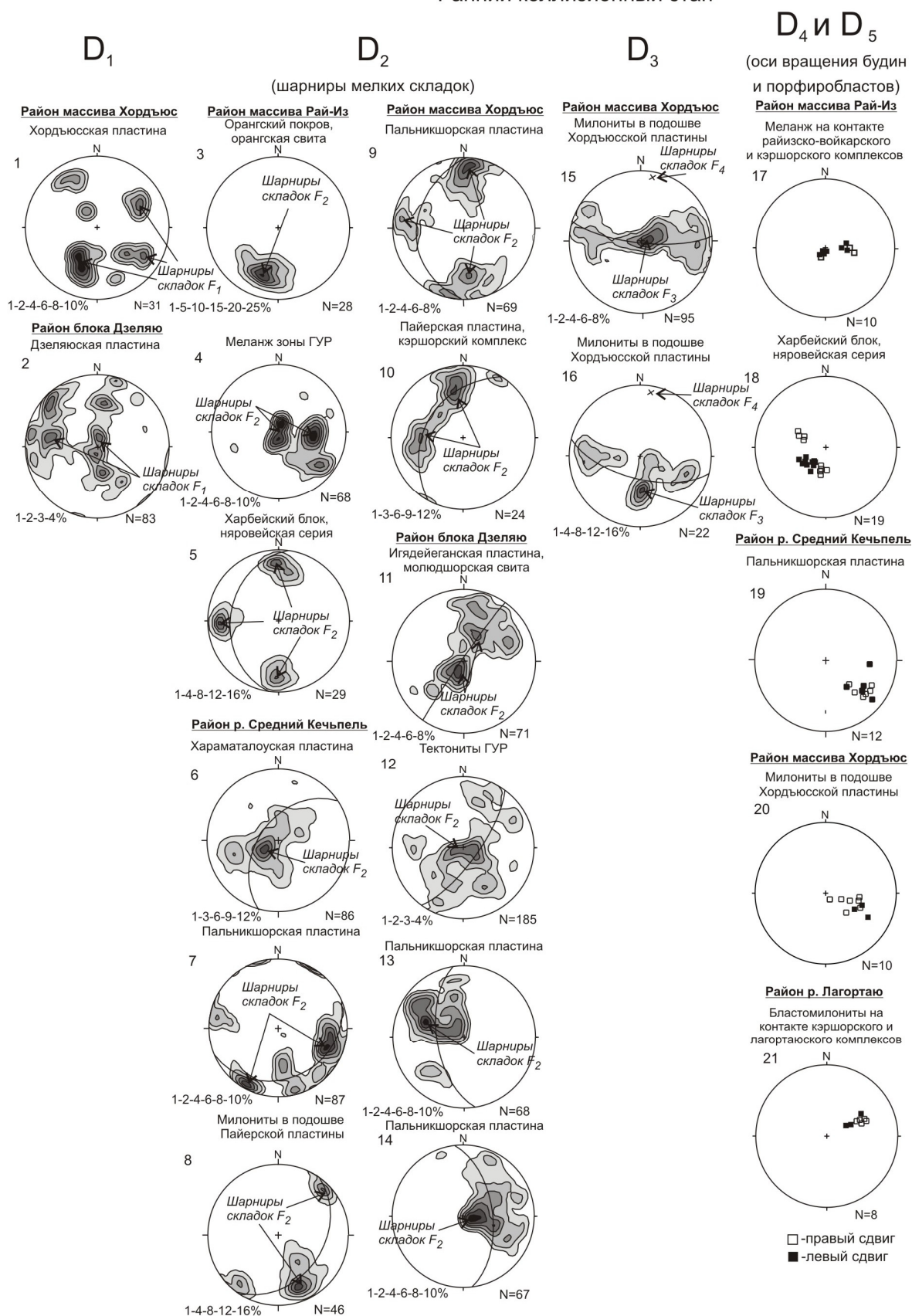
В ходе полевых работ на всех опорных участках изучались структурно-геометрические характеристики складчатых структур и индикаторов перемещений в зонах смятия: шарниров мелкой складчатости, осей вращения будин, гранатовых и кварцевых порфировобластов, а также индикаторов палеонапряжений (плоскостей сопряженных трещин и трещин растяжения), а затем проводилась их типизация и корреляция с использованием традиционных методик (Fleuty, 1964; Казаков, 1976; Очеретенко, Трощенко, 1978; Эз, 1978; Родыгин, 1980; Ramsay, Huber, 1987; Marshak, Mitra, 1988; Nicolas, 1989; Николя, 1992; Van Der Pluijm, Marshak, 2004; Кирмасов, 2011 и др.). По ориентировке плоскостей сопряженных трещин вычислялись оси сжатия и растяжения (Groshong, 2006).

Выявлены два главных типа деформаций: ранние пластические, представленные главным образом мелкой складчатостью, и более поздние хрупкие, которые фиксируются по сопряженным трещинам и трещинам растяжения. При анализе структурных данных выделено восемь стадий деформации, приуроченных к определенным этапам коллизионного процесса (Сычев, Куликова, 2012).

Возрастные соотношения различных структур определялись на основе как полевых наблюдений, так и анализа рисунка распределения структурных элементов на азимутальных проекциях. Формирование разновозрастных структур связывалось с разновозрастными стадиями деформаций. По полевым наблюдениям нами выделяются стадии  $D_4 - D_8$ . Структуры, связанные со стадиями  $D_1 - D_3$ , хотя и наблюдались в поле, но их выделение стало возможным лишь в результате анализа рисунка распределения структурных элементов на азимутальных проекциях. Так, шарниры мелких складок, сформировавшихся до коллизии (стадия  $D_1$ ), хаотично распределяются на азимутальных проекциях, тогда как в результате событий раннего коллизионного этапа (стадия  $D_2$ ) ориентировка шарнирных линий становится закономерной вдоль дуги большого круга. Хаотичное расположение можно связать с длительной историей преобразования пород дзеляуского комплекса, в ходе которой он подвергся полифазной складчатости. На стадии  $D_3$  шарниры мелкой складчатости имеют сложный рисунок распределения на азимутальных проекциях и идентифицированы только в милонитах из подошвы Хордьюсской пластины. Корреляция стадий деформаций в разных частях рассматриваемого региона также производилась по сходству как морфологических и кинематических характеристик структурных элементов, так и их изображений на азимутальных проекциях. В результате было установлено, что большинство деформационных событий было проявлено по всему региону (в нашем случае – в пределах офиолитовых массивов, расположенных в южной части Полярного Урала), тогда как некоторые имели только локальное распространение (в пределах участка исследований, одного или нескольких разрезов). К регионально проявленным событиям относятся стадии  $D_2, D_6, D_7, D_8$ , а к локальным  $D_1$  и  $D_3$ . Следует отдельно отметить стадии  $D_4$  и  $D_5$ , которые имеют локальное распространение структурных элементов, но по результатам анализа анизотропии магнитной восприимчивости выявлено их повсеместное развитие.

# Коллизионный

## Ранний коллизионный этап



**Рис. 3. Азимутальные проекции линейных и плоскостных структурных элементов (сетка Шмидта, нижняя**  
В левом верхнем углу номер проекции, соответствующий участку структурных измерений на рис. 1 и 2. Под  
главные нормальные напряжения. На стереограмме № 41 сгущениями показаны нормали к плоскостям трещин

## этап

Поздний коллизионный этап

## Постколлизийный

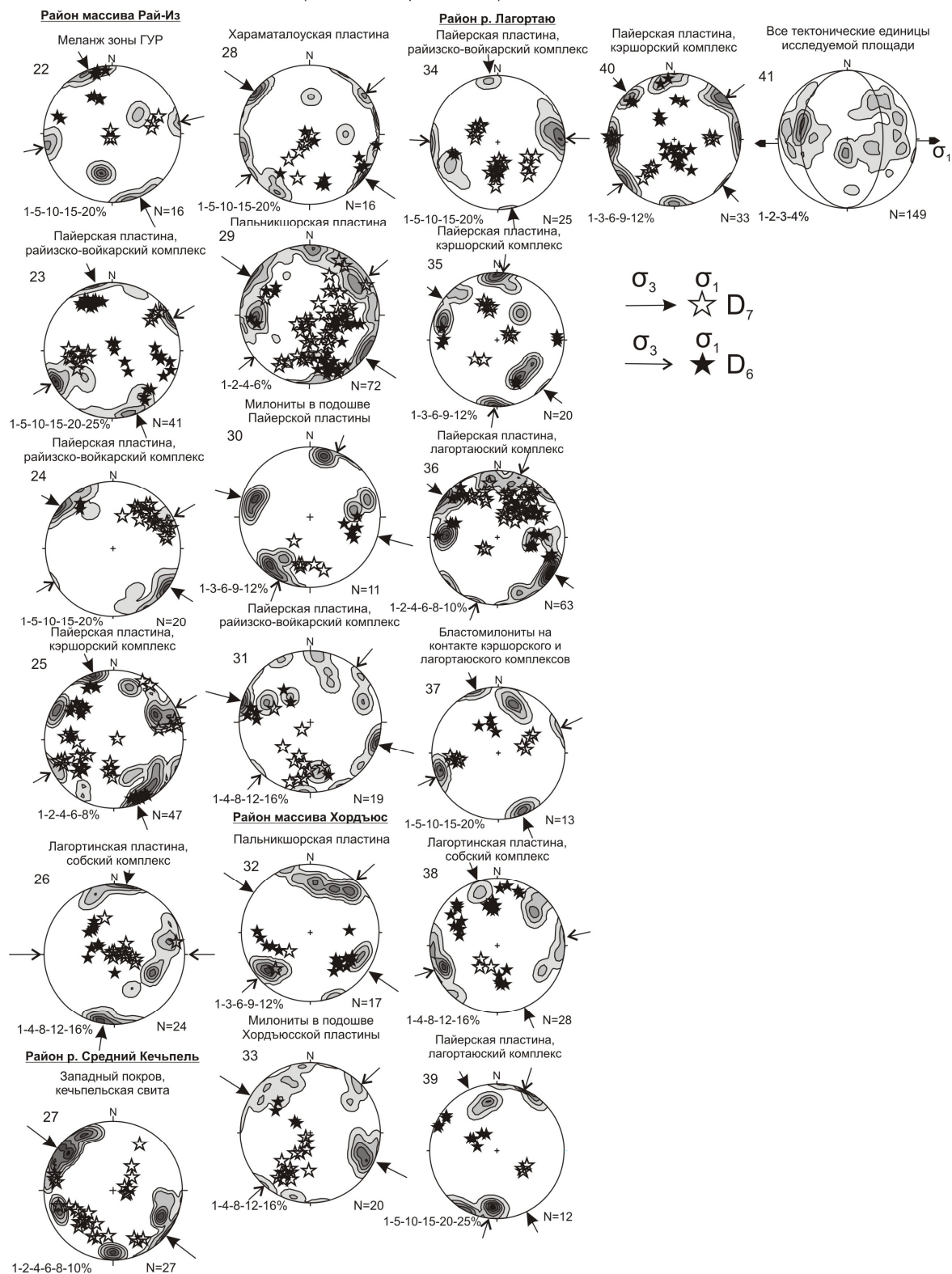
этап

$D_6$  и  $D_7$

(оси сжатия и растяжения)

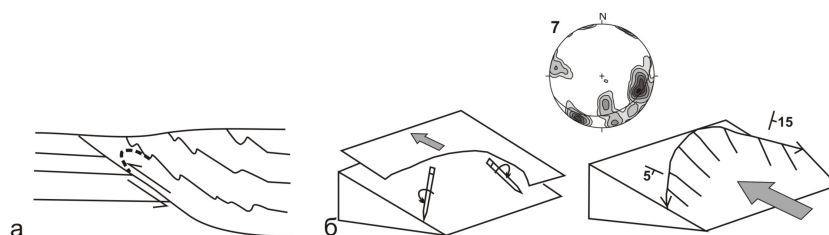
$D_8$

(трещины отрыва)



Наиболее ранние деформации (стадия D<sub>1</sub>) зафиксированы в метагабброидах и амфиболитах Хордьюсской и Дзеляюсской пластин. Именно в них, в отдельных обнажениях, удается наблюдать замки мелких (5-20 см) открытых складок, характеризующихся пологими (10-45°) и субвертикальными шарнирами различной ориентировки (рис. 3 – 1,2). Шарниры b<sub>1</sub> мелкой складчатости F<sub>1</sub> располагаются хаотично, эта ориентировка образовалась в результате смещений неустановленной кинематики в базит-гипербазитовых телах еще до начала коллизионного процесса. В Хордьюсской пластине шарниры мелкой складчатости погружаются преимущественно на ЮЗ под углами 30-45°, но присутствуют и другие ориентировки погружения – СЗ, СВ и ЮВ. В Дзеляюсской пластине шарниры в основном имеют вертикальное, северное, СЗ и ЮВ погружение шарниров. Скорее всего, эту стадию преобразований можно связать с началом формирования Полярноуральской островодужной системы на границе кембрия-ордовика (500 млн. лет – время метаморфизма габброидов Дзеляю) (Remizov, Pease, 2004). В это время происходило заложение субдукционной складки океанической коры венда (578 млн. лет - возраст первичных цирконов из окварцованных габбро-норитов Дзеляю) (Ремизов, 2004).

Второй этап пластических деформаций (стадия D<sub>2</sub>) представлен практически во всех геологических единицах, за исключением Хордьюсской и Дзеляюсской пластин, и интерпретируется как более поздний, потому что шарниры мелкой складчатости располагаются закономерно и подчиняются модели, описанной ниже. Мелкие складки F<sub>2</sub> (рис. 4а) характеризуются пологими (10-30°) шарнирами, которые распределены по дуге большого круга на азимутальных проекциях (рис. 3 – 3-14). Ориентировку шарниров можно объяснить моделью Хансена (рис. 4), показывающей перемещение масс вещества при общем надвигообразовании (Hansen, 1971). При этом происходило изгибание и вращение на крыльях тектонических пластин с последующим пережимом в центральной части (рис. 4б). Разворот некоторых структурных элементов на запад мы объясняем формированием антиклинали висячего крыла (рис. 4а). Именно эти пластические деформации фиксируют региональное надвигообразование – основной этап формирования структуры Урала.



**Рис. 4. Модель Хансена (Hansen, 1971).**

а – разрез, показывающий развитие асимметричных складок, пунктиром показана антиклиналь висячего крыла (дополнение автора); б – иллюстрация, объясняющая различную вергентность складок, простирающихся в одной плоскости. Приведена азимутальная проекция для Пальникшорской пластины, максимумы соответствуют элементам залегания, вынесенным на рисунк.

Возрастной интервал надвигообразования начинается с визе, так как в это время появляются первые свидетельства коллизии пассивной окраины ВЕК с Малоуральской островной дугой. Начало коллизионных процессов маркируется появлением карбонатно-терригенных флишоидов воргашорской, райизской и яйюсской свит, в составе которых отмечаются граувакки, содержащие хромшпинелиды, свидетельствующие о возникновении восточного источника терригенного материала (Строение..., 1990; Пучков, 1993; Puchkov, 2002 и др.). Верхний возрастной предел принят артинским ярусом ранней перми ввиду окончания накопления флишоидов кечьпельской свиты и начала формирования песчаниковой подсвиты гусиной свиты, имеющей, как и лежащие выше по разрезу геологические единицы грубообломочный состав, характеризующий мелководные условия осадконакопления и начало размыва горной страны (Шишкин, 2003ф).

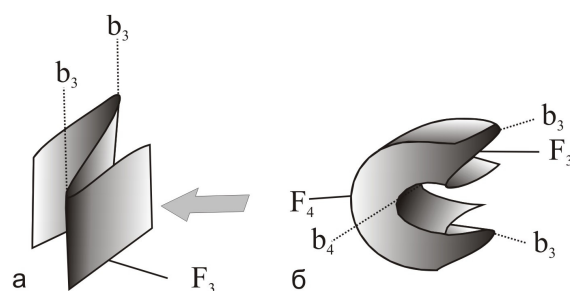
Следующая стадия пластических деформаций ( $D_3$ ) фиксируется по субвертикальным шарнирам мелких (10-15 см) закрытых складок только в апоальникшорских милонитах подошвы пластины Хордьюс, которые имеют свой характерный рисунок распределения (рис. 3 – 15,16), вследствие чего и отнесены к более поздним. Такой рисунок распределения может отражать формирование цилиндрических складок, но, скорее всего, деформационный процесс протекал намного сложнее. Разъяснение кинематики распределения линейных элементов по дуге большого круга на азимутальной проекции показано на рисунке 5. Вначале формировались субвертикальные шарниры  $b_3$  нейтральных (синдвиговых) складок  $F_3$  (рис. 5а), затем происходило образование наложенных складок  $F_4$  с субгоризонтальными, параллельными друг другу шарнирами  $b_4$  (рис. 5б), полого погружающимися на север. Конечный облик структуры (рис. 3 – 15,16) был сформирован в результате пенепленизации складчатого сооружения. Пластические деформации этого типа отражают этап встраивания (экзгумации в верхние горизонты коры) блоков пород массивов Хордьюс и Дзеляю, со своим специфическим (неупорядоченным) структурным рисунком, в уже сформированную покровную структуру Урала (Сычев, Куликова, 2012).

Деформации стадий  $D_4$  и  $D_5$  зафиксированы, в основном, в милонитах на границах тектонических пластин по осям вращения будин и порфиробластов. Более поздние, чем главная складчатость (Куликова, Сычев, 2010), конформные границам тектонических пластин оси вращения будин и порфиробластов погружаются преимущественно субвертикально (рис. 3 – 17-21), а их морфология указывает как на правосдвиговые, так и на левосдвиговые смещения. Зоны, в которых наблюдались эти структуры, имеют сходные элементы залегания и поэтому не являются сопряженными. Определение последовательности левого и правого сдвига по полевым данным не представляется возможным из-за малой распространенности и неудовлетворительной обнаженности. Однако можно констатировать, что на раннем коллизионном этапе, но на более поздних стадиях, ГУР и другие разломы, параллельные ему, испытывали как левосторонние, так и правосторонние сдвиговые смещения.

Время формирования структур стадий  $D_3$ ,  $D_4$  и  $D_5$  принято условно от кунгурского яруса ранней перми до времени начала формирования триасовых грабенов.

Хрупкие деформации (сопряженные трещины), сформированные в ходе позднего коллизионного этапа, наблюдаются повсеместно. У вычисленных осей сжатия по сопряженным трещинам переменная ориентировка (рис. 3 – 22-40). Интерпретируются пологопогружающиеся (10-20°) оси сжатия СЗ-ЮВ и СВ-ЮЗ простираций. В ходе полевых наблюдений отмечено, что сопряженные трещины с осями сжатия СЗ-ЮВ направления смещают сопряженные трещины с осями сжатия СВ-ЮЗ направления, поэтому оси сжатия СВ-ЮЗ простираения интерпретируются как начальная стадия хрупкой деформации (стадия  $D_6$ ), тогда как СЗ-ЮВ ориентировки представляют позднюю стадию деформации (стадия  $D_7$ ).

На стадии  $D_6$  сжимающие напряжения были направлены вдоль зоны ГУР. Эта ориентировка образовалась вследствие сдвиговых деформаций (оси растяжения, в основном, погружаются полого). На стадии  $D_7$  сжимающие напряжения перпендикулярны простираению зоны ГУР, а растяги-



**Рис. 5. Интерпретация получившегося структурного рисунка на стадии деформации  $D_3$ .**

а – ранние складки  $F_3$  с субвертикальными шарнирами  $b_3$ ; б – наложенные складки  $F_4$  с субгоризонтальными шарнирами  $b_4$ .

вающие имеют субвертикальную направленность и погружаются под разными углами. Эти ориентировки связаны с действием поперечных напряжений в ходе все еще продолжающегося коллизионного процесса. В это время образовывались взбросо-сдвиговые дизъюнктивные нарушения.

В триасе сжимающие напряжения были направлены вдоль орогена, фиксируя благоприятную обстановку как для сдвигов, так и для формирования грабенов. Так на севере Урала отмечается развитие грабеновых структур (например, Северососьвинский и Салехардский грабены), в основном субмеридионального простирания, заполненных триасовыми осадками, с наличием угольных залежей (Пучков, 2010). Структуры подобного типа могли возникнуть в обстановке регионального сжатия, когда в результате сжатия со сдвигом вдоль орогена происходило формирование пулл-апартов и родственных им структур. Возможно также связать грабенообразование и с действием триасового суперплюма. Развитие роев даек мусюрского комплекса северо-западного простирания, распространенных в пределах офиолитовой и палеоостроводужной ассоциаций и датированных средним триасом (243 млн. лет (Соболев, Соболева, Варламов, 2013)), ставит под вопрос ранне-среднетриасовый возрастной интервал проявления сжимающих напряжений данной направленности. Наиболее вероятным возрастом распространения сжимающих напряжений вдоль Урала представляется поздний триас, как раз в это время происходило смятие в складки (древнекиммерийская складчатость), с северо-западными простираниями осевых поверхностей, ранне-позднетриасовых осадков Кортаихинской впадины (Государственная..., 2012) и формирование субширотной гряды Чернова, а так же образование правосторонних сдвиговых нарушений северо-западного простирания.

Затем сжимающие напряжения ориентированы перпендикулярно простиранию зоны ГУР, а растягивающие как полого, так и субвертикально, что подчеркивает взбросо-сдвиговую обстановку. В результате такого пространственного расположения напряжений в позднетриасовую эпоху была сформирована гряда Чернышева, имеющая субмеридиональное простирание и, по-видимому, произошло надвигание Уральской структуры на Пай-Хойскую (Шишкин, 2009). В это время происходило «подновление» северо-западной системы сдвигов с проявлением левосдвиговой компоненты. Юрские отложения залегают несогласно на перечисленных выше структурах, не подвержены деформациям и ограничивают верхний возрастной интервал коллизионного этапа, в течение которого сформировалась Уральская складчато-надвиговая система.

Трещины отрыва наблюдаются во всех тектонических единицах и секут сопряженные сколы, на их плоскостях нередко наблюдается плюмовая структура. Это трещины отрыва типа “х” joints (Van Der Pluijm, Marshak, 2004) (рис. 3 – 41). Формирование трещин отрыва происходило на постколлизионном этапе (стадия D<sub>8</sub>) после снятия сжимающих напряжений, действовавших на Уральский ороген, когда покровно-складчатая система образовалась и вступила в период платформенного развития. Этот процесс, скорее всего, происходил в плиоцене при новейшем горообразовании (Пучков, 2010), но не исключены и другие возраста.

Обобщающая схема структурного развития изученных геологических объектов представлена на рисунке 6.

### **3.2 Анализ анизотропии магнитной восприимчивости**

Анизотропия магнитной восприимчивости (АМВ) является информативной петромагнитной характеристикой горных пород. Среди различных причин образования анизотропии магнитной восприимчивости важная роль отведена одноосным давлениям при высокой температуре, сопровождающим кристаллизацию и перекристаллизацию горных пород (Использование магнетизма..., 1986; Tarling, Hrouda, 1993). Связь магнитной анизотропии пород с их текстурными особенностями

ми, в частности, зависимость АМВ от распределения длинных и коротких осей магнитных минералов, позволяет использовать результаты измерений АМВ для изучения структурных элементов деформированных пород (Использование магнетизма..., 1986; Tarling, Hrouda, 1993; Borradaile, Henry, 1997). Многочисленные исследования на качественном уровне подтвердили положительную корреляцию между различными параметрами АМВ и деформации горных пород (Owens, 1974; Borradaile, 1991; Tarling, Hrouda, 1993; Parés, Van Der Pluijm, 2004 и др.), но количественные отношения между ними остаются дискуссионными (Burmeister, et al., 2004; Ježek, Hrouda, 2007; Войтенко, 2008).

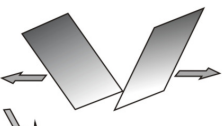
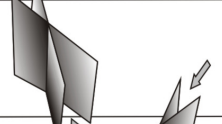
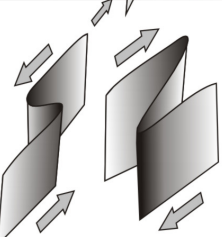
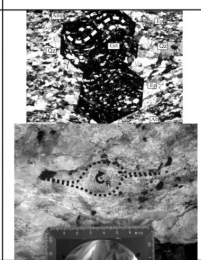
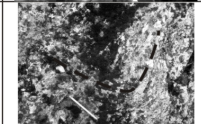
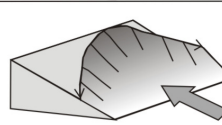
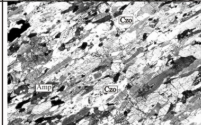
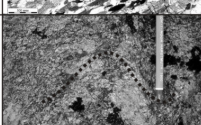
| Этап коллизии | Стадия деформации | Структурный рисунок             | Фото                                                                                          | Процесс                                                                             | Порода, Р-Т условия                                                                        |                                                                                             | Возраст                         |                                   |
|---------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|               |                   |                                 |                                                                                               |                                                                                     | Пальникшор                                                                                 | Дзеляю                                                                                      |                                 |                                   |
| Коллизионный  | Поздний           | D <sub>8</sub>                  |              |    | Образование трещин отрыва, горообразование и пенепленизация                                | Преобразования не зафиксированы                                                             | J-Q                             |                                   |
|               |                   | D <sub>7</sub>                  |              |    | Взбросо-сдвиг, горстобразование                                                            |                                                                                             | T <sub>3</sub>                  |                                   |
|               |                   | D <sub>6</sub>                  | Сдвиг, субмеридиональное грабенообразование, складкообразование, субширотное горстобразование |                                                                                     | T <sub>1-2</sub> ?-T <sub>3</sub>                                                          |                                                                                             |                                 |                                   |
|               | Ранний            | D <sub>4</sub> и D <sub>5</sub> |            |   | Левый и правый сдвиг, транстенсия                                                          | Grt-Amp, Grt-Ab-Qtz-Chl-Amp, Grt-Ep-Amp-Ab-Qtz кристаллосланцы<br>P ↑ T ↑                   | Преобразования не зафиксированы | P <sub>1k</sub> -P <sub>3</sub>   |
|               |                   | D <sub>3</sub>                  |            |  | Наложенная складчатость, встраивание блоков Хордьюс и Дзеляю в общую структуру             | Czo амфиболит<br>P ↓ T ↓                                                                    | Czo амфиболит                   | C <sub>1v</sub> -P <sub>1at</sub> |
|               |                   | D <sub>2</sub>                  |            |  | Надвиг и складкообразование, коллизия Малоуральской островной дуги и пассивной окраины ВЕК |                                                                                             |                                 |                                   |
|               |                   | D <sub>1</sub>                  |            |  | Хаотичное складкообразование, заложение субдукционной складки                              | Преобразования не зафиксированы<br>Grt-Czo-Amp кристаллосланец<br>P ↑ T ↓ Друзит<br>P ↑ T ↑ | € <sub>3</sub>                  |                                   |
|               |                   |                                 |                                                                                               |                                                                                     |                                                                                            | Габбронорит                                                                                 | V <sub>1</sub>                  |                                   |

Рис. 6. Эволюция зоны ГУР и системы прилегающих тектонических единиц.

Так как форма эллипсоида АМВ напрямую зависит от действующих напряжений, то наиболее важным для исследования представляется совпадение ориентировок главных осей эллипсоида АМВ и эллипсоида деформации (Использование магнетизма..., 1986; Borradaile, 1988; 1991; Borradaile, Henry, 1997; Войтенко, 2008 и др.). С применением критерия Андерсона (Anderson, 1951), этот факт позволяет использовать метод для расшифровки кинематики разрывных нарушений и изучения этапности деформационного процесса.

АМВ определяется симметричным тензором второго ранга. Величины трех главных осей эллипсоида АМВ обозначаются:  $K_1$  – максимальная,  $K_2$  – промежуточная,  $K_3$  – минимальная магнитные восприимчивости. Для характеристики АМВ используют следующие параметры: 1) среднее значение восприимчивости –  $K_m$  ( $СИ \cdot 10^{-6}$ ); 2) магнитная линейность –  $L$ ; 3) магнитная полосчатость –  $F$ ; 4) степень (интенсивность) АМВ –  $P_j$ ; 5) параметр формы –  $T$ , изменяющийся от -1 (удлиненный эллипсоид) до +1 (сплюснутый эллипсоид).

Анализируемые породы имеют видимое разбиение на группы по величине средней магнитной восприимчивости, выделяются амфиболовые кристаллосланцы зоны ГУР (район массива Рай-Из), породы няровейской серии, райизско-войкарского, собского и отчасти кэршорского комплексов (величины от 10480 до 105790), значения для остальных изученных подразделений колеблются от 99 до 991. По величине интенсивности АМВ выделяется та же группа пород (величины от 1.2 до 2.9), значения для остальных геологических единиц располагаются в пределах от 1 до 1.2. Форма эллипсоида АМВ в подавляющем большинстве сплюснутая (Сычев, Куликова, 2011; Сычев, Войтенко, Куликова, 2011; Сычев, 2012, 2013).

В районе **массива Рай-Из** ориентировка эллипсоида анизотропии для зоны ГУР связана со сбросовыми деформациями (рис. 7 – 4,5). Для пород райизско-войкарского комплекса в северном обрамлении массива Рай-Из расположение эллипсоида анизотропии обнаруживает сдвиговую кинематику (рис. 7 – 6), а в южном ограничении массива взбросовую (рис. 7 – 1). В кэршорском комплексе и няровейской серии оси укорочения располагаются субмеридионально, а оси удлинения субширотно и погружаются под малыми углами (рис. 7 – 7,8) – это расположение связывается нами со сдвиговыми деформациями.

Ориентировка эллипсоида анизотропии в породах Лемвинского аллохтона и Хараматалоуской пластины, в районе **реки Средний Кечьпель**, связана со сбросовыми смещениями (рис. 7 – 9,10). Для пород Пальникшорской пластины эллипсоиды АМВ располагаются неупорядоченно, фиксируют как сбросовые, так и сдвиговые нарушения (рис. 7 – 11-14), что объясняется ее сложной покровно-сдвиговой тектоникой и разнообразием вещественного состава слагающих ее пород. Расположение эллипсоида АМВ в милонитах фиксирует сдвиговую обстановку (рис. 7 – 15). В Войкарском аллохтоне субвертикальная ориентировка минимальной оси связана со сбросовыми деформациями (рис. 7 – 16). Таким образом, ориентировка главных осей эллипсоидов АМВ для Лемвинского аллохтона, Хараматалоуской пластины, Пальникшорской пластины (вблизи ГУР) и Войкарского аллохтона определяется результатами сбросообразования, а для остальных пород в составе Пальникшорской пластины и милонитов результатами сдвиговых деформаций.

В районе **массива Хордьюс** ориентировки эллипсоидов АМВ во фронтальной части пальникшорской толщи связаны со сбросообразованием (рис. 7 – 17), а в тыловой части со взбросообразованием (рис. 7 – 2). В милонитах подошвы Хордьюсской пластины ориентировка эллипсоидов фиксирует сдвиговые перемещения (рис. 7 – 18).

В гипербазитовом комплексе в районе **реки Лагортаю** ориентировка осей эллипсоида АМВ связана со сдвигообразованием (рис. 7 – 19). Пространственная характеристика направлений главных осей эллипсоидов АМВ для образцов из комплекса параллельных даек не дает преимущественной ориентировки, что было показано ранее (Куренков, Диденко, Симонов, 2002), здесь присутствуют как сдвиговые, так и сбросовые деформации (рис. 7 – 21,22).

# Ранний коллизийный этап

D<sub>2</sub>

D<sub>4</sub> и D<sub>5</sub>

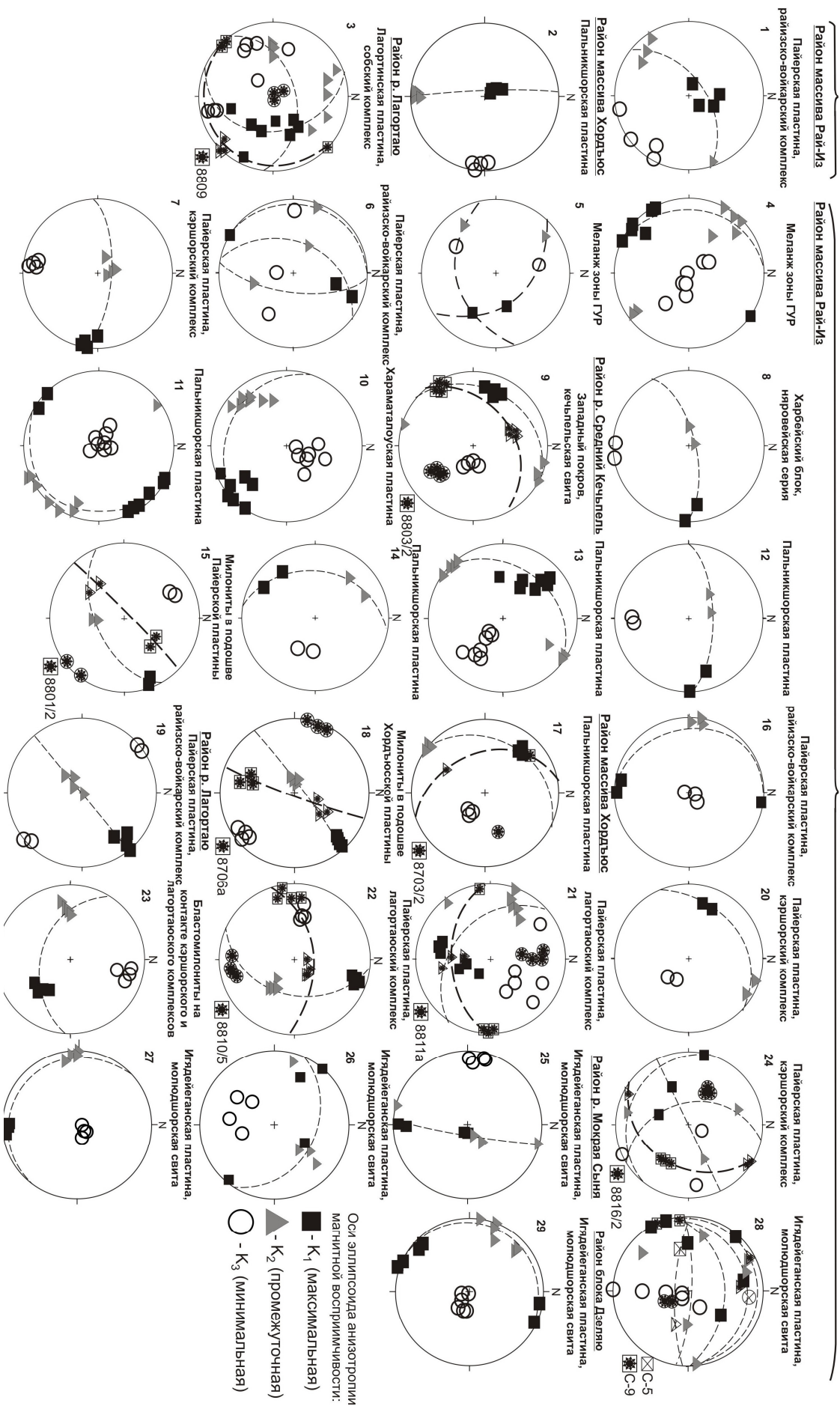


Рис. 7. Азимутальные проекции главных осей эллипсоидов АМВ (сетка Шмидта, нижняя полусфера). Дугами большого круга отмечены ориентировки плоскостей магнитной полусферности.

Ориентировки осей эллипсоида в породах кэршорского комплекса фиксируют сбросовые нарушения (рис. 7 – 20,24). Расположение осей эллипсоида в зоне бластомилонитизации, разделяющей кэршорский и лагортауский комплексы, связано со сдвиговыми смещениями (рис. 7 – 23). Для диоритов собского комплекса ориентировка связана с региональным надвигообразованием, последующим разворотом и выполаживанием (обр. № 8809) элементов залегания геологического тела (рис. 7 – 3) при приближении к фронтальной части надвига, разграничивающего офиолитовые и палеоостроводужные комплексы.

В породах молюдшорской свиты в районах **реки Мокрая Сыня** и **блока Дзеляю** наблюдаются в основном сбросовые нарушения (рис. 7 – 25-29).

Все вышеописанные ориентировки эллипсоидов АМВ были сопоставлены со стадиями D<sub>2</sub>, D<sub>4</sub> и D<sub>5</sub> деформационного процесса. Выявлены лишь единичные ориентировки, связанные с надвигообразованием (взбросообразованием), что говорит нам о практически полном затухивании деформациями стадий D<sub>4</sub> и D<sub>5</sub> надвиговых петроструктур стадии D<sub>2</sub>. Сложнее дело обстоит с деформациями на стадиях D<sub>4</sub> и D<sub>5</sub>, которые по анализу мезоструктурных данных мы интерпретируем как сдвиговые. В ГУР движение происходит не по одной или нескольким плоскостям, а в пределах зоны разлома, которая в некоторых «раздувах» достигает ширины в 15-20 км. При расщеплении этой зоны могут возникать как зоны растяжения, так и сжатия. На стадиях D<sub>4</sub> и D<sub>5</sub> мы выявили сдвиг с растяжением – транстенсию. Следовательно, на поздних стадиях раннего коллизионного этапа происходили сдвиго-сбросовые нарушения. Следует отметить, что хаотичное расположение осей эллипсоида АМВ мы связываем со стадиями D<sub>4</sub> и D<sub>5</sub>, т.к., скорее всего, изменение петрофизических параметров, сформированных на надвиговой стадии, происходило именно в это время.

С помощью анализа АМВ получилась наиболее полная и качественная картина, подтверждающая процесс сдвигообразования (D<sub>4</sub> и D<sub>5</sub>) в зонах милонитизации, разграничивающих тектонические единицы, и зонах распространения порфиробластовых структур.

#### **Глава 4. Некоторые особенности метаморфизма зоны Главного Уральского разлома**

Для исследования связи этапности деформационных процессов с метаморфическими преобразованиями, которые повсеместно запечатлены в породных ассоциациях зоны ГУР, в районе **массива Хордьюс** из пальникшорской толщи и дзеляюского комплекса были отобраны пробы для микрозондового изучения метаморфических парагенезисов.

В результате исследования петрографического и минералогического составов в породах пальникшорской толщи были установлены разнообразные минеральные ассоциации, а также выделены одновременные метаморфические парагенезисы, которые связаны со стадиями структурного преобразования пород (табл. 1).

По результатам исследований метаморфических парагенезисов в породах пальникшорской толщи можно говорить о нескольких стадиях метаморфических преобразований первичной вулканогенно-обломочной толщи. Первая (ранняя) стадия связана с региональными надвиговыми деформациями на раннем коллизионном этапе формирования структуры Урала (D<sub>2</sub>), вследствие которых в толще образовалась синметаморфическая полосчатость, фиксируемая по линейной ориентировке амфибола, клиноцоизита, кварца и альбита и сохранившаяся при последующих преобразованиях (рис. 6). Результаты термобарометрии по составам минералов (расчет осуществлялся в программе TPF version 7 (Konilov et al., 1995)) фиксируют максимальные давления в подошве зоны бластомилонитизации, разделяющей пальникшорскую толщу и дзеляюский комплекс.

**Таблица 1. Минеральные ассоциации пород пальникшорской толщи.**

В таблице не приведен парагенезис с глаукофаном т.к. в районе ручья Пальникшор, не удалось исследовать данную ассоциацию.

| Характеристика породы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Минеральная ассоциация                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Метаморфические породы раннего коллизионного этапа (D<sub>2</sub>)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                 |
| <u>Клиноцоизитовые амфиболиты</u> мелкозернистые со сланцеватой текстурой и нематобластовой структурой                                                                                                                                                                                                                                                | Amp <sub>1</sub> + Czo <sub>1</sub> ±Qtz ±Rt – метаморфический парагенезис раннего коллизионного этапа;                                                                         |
| <u>Клиноцоизит-хлорит-амфибол-кварцевые кристаллосланцы</u> мелкозернистые сланцеватые с новообразованной лепидонематогранобластовой и участками реликтовой крупнопсефитовой литокластической структурой.                                                                                                                                             | Amp <sub>1</sub> +Czo <sub>1</sub> +Qtz <sub>1</sub> ±Ab ±Rt – метаморфический парагенезис раннего коллизионного этапа;<br>Chl ±Act - наложенный низкотемпературный парагенезис |
| <u>Плагииграниты</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Czo-Mu-Ab-Qtz                                                                                                                                                                   |
| <u>Плагиигранитогайеисы</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Czo-Amp-Ab-Qtz                                                                                                                                                                  |
| <i>Метаморфические породы постнадвигового этапа (D<sub>4</sub> и D<sub>5</sub>)</i>                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                 |
| <u>Гранат-амфиболовые и гранат-альбит-кварц-хлорит-амфиболовые кристаллосланцы</u> плотные или сланцеватые, участками микроплочатые метаморфически располосованные мелкозернистые породы, иногда с реликтами миндалекаменной текстуры. Структура пород пойкилобластовая с нематогранобластовой, лепидонематогранобластовой структурой основной массы. | Grt +Amp <sub>2</sub> ±Qtz +Czo <sub>2</sub> ±Ab – метаморфический парагенезис постнадвигового этапа;<br>Chl±Cal – наложенный низкотемпературный парагенезис                    |
| <u>Гранат-эпидот-амфибол-альбит-кварцевые кристаллосланцы</u> мелкозернистые линейно-полосчатые породы с пойкилобластовой, иногда бластопорфировой структурой и гранонематобластовой либо лепидогранобластовой структурой основной массы.                                                                                                             | Grt +Qtz +Ab +Amp <sub>2</sub> +Czo <sub>2</sub> – метаморфический парагенезис постнадвигового этапа<br>Chl±Cal – наложенный низкотемпературный парагенезис                     |

У клиноцоизит-хлорит-амфибол-кварцевых кристаллосланцев и клиноцоизитовых амфиболитов пределы температуры и давления, определенные по составу барруазита, варьируются от 7.2 кбар и 505°С в зоне, граничащей с развитием бластомилонитов, до 4.4 кбар и 510°С на удалении от нее.

Вторая стадия преобразований, во время которой происходило образование граната и частичная перекристаллизация раннего амфибола, связана с прогрессивной деформацией пластины на постнадвиговом этапе (D<sub>4</sub> и D<sub>5</sub>), выраженной во внутреннем вращении ранее сформировавшейся синметаморфической полосчатости (рис. 6). Об этом свидетельствует сигмоидальный рисунок пойкилитовых протогенетических включений в гранате. Формирование позднего метаморфического парагенезиса, как показывают термобарометрические расчеты, начиналось при давлении 7.1 – 8.8 кбар и температуре 416-454°С, но постепенно при прогрессивном метаморфизме температура повысилась до 504-564°С (Сычев, Куликова, 2010; Куликова, Сычев, 2010). Т.А. Потаповой (Потапова, 1990) для метавулканитов пальникшорской толщи установлен типичный прогрессивный метаморфический тренд от условий поверхности до (ориентировочно) 450°С и 3-4 кбар.

Перейдем к рассмотрению петрографических и минералогических особенностей пород, слагающих массив Хордьюс (табл. 2).

**Таблица 2. Минеральные ассоциации пород массива Хордьюс.**

| Характеристика породы                                                                                                                                  | Минеральная ассоциация                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Реликтовые магматические породы</i>                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <u>Габбронорит</u> с порфировидной структурой и габбровой структурой основной массы, участками катакластической, и линейно-полосчатой текстурой        | $\text{Crx} \pm \text{Orx} + \text{Amp} + \text{Pl} + \text{TiMag}(\text{Mag-Ilm}) + \text{Ap}$ – магматический парагенезис;<br>$\text{Amp}_1 + \text{Pl}_1 + \text{Czo} \pm \text{Chl} \pm \text{Prg}$ – наложенный вторичный парагенезис                           |
| <u>Метагаббро</u> с реликтовой гипидиоморфнозернистой и новообразованной гранонематобластовой и коронитовой структурами и линейно-полосчатой текстурой | $\text{Crx} + \text{Amp} + \text{Pl}$ – магматический парагенезис;<br>$\text{Amp}_1 + \text{Pl}_1 + \text{Czo} + \text{Ab} + \text{Qtz} \pm \text{Chl} \pm \text{Srp} \pm \text{Prg} \pm \text{Rt} \pm \text{Ttn} \pm \text{Ccp}$ – наложенный вторичный парагенезис |
| <i>Породы метаморфизованные до коллизии (<math>D_1</math>)</i>                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <u>Метагаббро</u> с коронитовой структурой                                                                                                             | $\text{Crx}_1 + \text{Amp}_1 + \text{Qtz} + \text{Czo}_1 + \text{Pl}_1 + \text{Czo}_2 + \text{Ab} \pm \text{Rt}$ – ранний метаморфический парагенезис                                                                                                                |
| <u>Друзит (метагаббро)</u> с коронитовой, участками нематобластовой структурой                                                                         | $\text{Crx}_1 + \text{Amp}_2 + \text{Grt}_1 + \text{Pl}_1 + \text{Czo}_1 + \text{Czo}_2 + \text{Ab} \pm \text{Prg} \pm \text{Ilm} \pm \text{Ttn} \pm \text{Ccp}$ – ранний метаморфический парагенезис                                                                |
| <u>Гранат-клиноцоизит-амфиболовый кристаллосланец</u> с такситовой текстурой и порфиробластовой с гранонематобластовой основной массой.                | $\text{Czo}_2 + \text{Grt}_2 + \text{Amp}_3 + \text{Ab} \pm \text{Scp}$ – поздний метаморфический парагенезис                                                                                                                                                        |
| <i>Метаморфические породы коллизионного этапа (<math>D_3</math>)</i>                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <u>Клиноцоизитовый амфиболит</u> с нематобластовой структурой и линейно-полосчатой текстурой                                                           | $\text{Czo}_3 + \text{Amp}_4 + \text{Ab}$ – метаморфический парагенезис коллизионного этапа;<br>$\text{Amp}_5 + \text{Czo}_4 \pm \text{Chl} \pm \text{Cal}$ – наложенный низкотемпературный парагенезис                                                              |

Установлено, что в породах массива Хордьюс и блока Дзеляю сохранились изменения, относящиеся к самой ранней стадии развития тел ( $D_1$ ). По габброидам массива Хордьюс на этой стадии в статических условиях верхов амфиболитовой фации при умеренном давлении образовались друзиты, а по габброидам блока Дзеляю – двупироксеновые гранулиты. Далее при интенсивном проявлении пластических деформаций и продолжающемся прогрессивном возрастании давления друзиты и гранулиты преобразовались в такситовые гранат-клиноцоизит-амфиболовые кристаллосланцы.

Во время коллизионного этапа ( $D_3$ ), когда блоки пород встраивались в общую уже сформированную структуру Урала, часть метаморфитов в условиях остывания и декомпрессии перекристаллизовалась в амфиболиты и клиноцоизитовые амфиболиты.

Самый поздний наложенный парагенезис актинолита и хлорита в породах обоих блоков фиксирует позднюю регрессивную метаморфическую стадию, связанную с выведением комплекса на земную поверхность, вероятно на поздних коллизионных этапах (Куликова, Сычев, 2010, 2011).

Для друзитов рассчитанное давление составляет 8-8.2 кбар, а температура варьирует от 722 до 803°C, гранат-клиноцоизит-амфиболовые кристаллосланцы образовались при давлении 9.5 кбар и температуре 716 °C, а клиноцоизитовые амфиболиты – при давлении 7.8 кбар и температуре 542°C.

А.А. Ефимовым и Т.А. Потаповой также проводились термобарометрические расчеты по породным ассоциациям, слагающим массив Хордьюс (Ефимов, Потапова, 1990, 2000; Потапова, 1990 и другие работы этих авторов). Полученные данные свидетельствуют, что тренды метагабброидных комплексов (западного и восточного) регрессивны по температуре, однако давление нарастает от верхнего предела габбро (7кбар) до свойственного гранулитовой фации промежуточно-

го давления (7-11 кбар, 900°C). Для западной зоны фиксируется еще и гранат-гранулитовая эпоха (10-13 кбар, 850°C), а весь путь метаморфической эволюции заканчивается столь же высобарической, водонасыщенной, но менее высокотемпературной (750°C для западной зоны, 650°C для восточной) амфиболитовой эпохой. Термобарометрические параметры, полученные А.А. Ефимовым и Т.А. Потаповой, отличаются в более высокую сторону, но тренды эволюции схожи. Сходные данные получены и А.М. Пыстиным (Пыстин, 1994).

### **Глава 5. Эволюция зоны Главного Уральского разлома**

В главе приводится обобщение результатов структурно-геометрического изучения складчатых и разрывных нарушений, анизотропии магнитной восприимчивости и метаморфических преобразований пород зоны ГУР и его обрамления.

#### **Заключение**

Основные результаты работы сводятся к следующему:

Главный Уральский разлом в южной части Полярного Урала проходит в западном обрамлении вулканогенно-осадочных пород пальникшорской толщи, отделяя палеоконтинентальные образования от палеоокеанических. Зона ГУР включает в себя пальникшорскую толщу и интенсивно метаморфизованные породы дзеляюского комплекса.

Структурные события в истории формирования зоны Главного Уральского разлома фиксируют многостадийность происшедших здесь деформаций (выделено восемь стадий). Выявлено, что деформации в наиболее древних метаморфических комплексах (массив Хордьюс и блок Дзеляю) проистекали до начала коллизии, а после формирования общей покровно-надвиговой структуры Урала тела блоков были выжаты в более высокие горизонты коры. Пликативные деформационные процессы в остальных тектонических единицах начались на раннем коллизионном этапе при региональном надвигообразовании и закончились образованием сдвига-сбросовых деформаций. На позднем коллизионном и постколлизионном этапах были проявлены дизъюнктивные нарушения, которые наложены на все рассматриваемые геологические объекты.

Петромагнитные характеристики пород выявляют минеральные ориентировки, сформированные в результате надвиговых и сдвига-сбросовых деформаций на раннем коллизионном этапе. Количественные отношения между различными параметрами АМВ и конечной деформации остаются дискуссионными, т. к. в породах изученной территории проведение стрейн-анализа затруднено из-за отсутствия стрейн-индикаторов.

В ходе петрологического исследования пород пальникшорской толщи и дзеляюского комплекса установлены разнообразные минеральные ассоциации, а также выделены одновременные метаморфические парагенезисы, которые связаны со стадиями структурного преобразования пород. Показано, что в дзеляюском комплексе вещественные изменения происходили до коллизии и на коллизионном этапе, а в пальникшорской толще на стадиях надвиго- и сдвигообразования при интенсивном проявлении пластических деформаций в условиях глубинного тектогенеза.

Геологические образования зоны Главного Уральского разлома, расположенные в южной части Полярного Урала, являются уникальным геолого-структурным объектом, позволяющим детально исследовать эволюцию Уральского орогена.

## Публикации по теме диссертации

*В изданиях, рекомендованных ВАК:*

1. **Сычев С.Н.**, Куликова К.В. Деформации контакта офиолитовых и палеоостроводужных комплексов южной части Полярного Урала // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2012, № 1 (205). С. 22-25.
2. **Сычев С.Н.**, Куликова К.В. Последовательность деформаций в обрамлении массива Рай-Из (Полярный Урал) // Вестник СПбГУ. Сер. 7, 2012. Вып. 3. С. 53-59.
3. **Сычев С.Н.**, Куликова К.В. Структурная эволюция зоны Главного Уральского разлома в западном обрамлении Войкаро-Сынинского офиолитового массива // Геотектоника, 2012, № 6. С. 46-54.
4. Ремизов Д.Н., Куликова К.В., **Сычев С.Н.**, Носиков М.В., Сергеев С.А. U-Pb-возраст цирконов из плагиогранитов лагортаюского дайкового комплекса на Полярном Урале // Докл. РАН, 2012, т. 447, № 5. С. 538-540.

*Монографии, главы в монографиях, сборники статей:*

1. Ремизов Д.Н., Шишкин М.А., Григорьев С.И., Ремизова С.Т., Куликова К.В., Петров С.Ю., Косьянов А.О., Носиков М.В., Матюшков А.Д., **Сычев С.Н.** и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XVI (г. Хордьюс). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, (принят к изданию в 2009 г.).
2. Ремизов Д.Н., Шишкин М.А., Григорьев С.И., Ремизова С.Т., Петров С.Ю., Косьянов А.О., Носиков М.В., Матюшков А.Д., **Сычев С.Н.** и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XVII (р. Танью). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, (принят к изданию в 2009 г.).
3. Ремизов Д.Н., Шишкин М.А., Григорьев С.И., Ремизова С.Т., Петров С.Ю., Косьянов А.О., Носиков М.В., Матюшков А.Д., **Сычев С.Н.** и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XXI,XXII (р. Евыргорт). Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, (принят к изданию в 2009 г.).
4. Куликова К.В., **Сычев С.Н.** Структурно-метаморфическая эволюция пород зоны Главного Уральского разлома южной части Полярного Урала / Петрология и минералогия севера Урала и Тимана: Сборник статей. Сыктывкар, 2010. № 6. С. 15-44. (Тр. Ин-та геологии Коми науч. центра УрО Российской АН. Вып. 127).
5. Куликова К.В., **Сычев С.Н.** Глава 2.4. Структурно-метаморфические особенности метагабброидов зоны Главного Уральского разлома (южная часть Полярного Урала) // Глубинное строение Тимано-Североуральского региона / Отв. Редактор А.М. Пыстин. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 131-152.

*Тезисы докладов научных конференций:*

1. **Сычев С.Н.** Определение кинематических характеристик Главного Уральского надвига по данным микроструктурного анализа тектонитов (Полярный Урал, Лемвинская зона) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 17-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2008. С. 253-257.

2. **Сычев С.Н.**, Куликова К.В. Зона западного контакта массива Хордьюс // Материалы I Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, посвященной памяти академика А.П. Карпинского, 24-27 февраля 2009 г. Спб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. С.82-85.
3. **Сычев С.Н.** Зона западного контакта Дзеляюского террейна (пластины) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 18-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2009. С. 155-158.
4. **Сычев С.Н.** Соотношение хрупких и пластических деформаций зоны сочленения пальникшорской толщи и массива Хордьюс // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Материалы XV Геологического съезда Республики Коми. Т.П. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. С. 160-163.
5. **Сычев С.Н.**, Куликова К.В. Коллизионная эволюция Пальникшорского террейна (Полярный Урал) // Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя. Материалы XLIII Тектонического совещания. Том 2. М.: ГЕОС, 2010. С. 326-330.
6. **Сычев С.Н.**, Куликова К.В. Пластические деформации в зоне Главного Уральского разлома (р. Средний Кечпель) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 19-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2010. С. 171-174.
7. **Сычев С.Н.**, Куликова К.В. Структурно-тектоническая позиция массива Хордьюс (Полярный Урал) // Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя. Материалы XLIII Тектонического совещания. Том 2. М.: ГЕОС, 2010. С. 330-334.
8. Куликова К.В., **Сычев С.Н.** Доколлизионная метаморфическая история массива Хордьюс (Полярный Урал) // Магматизм и метаморфизм в истории Земли. Тезисы докладов XI Петрографического совещания. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2010. Т.1. С. 354-355.
9. Queiroga G., Martins M., Kulikova K., **Sychev S.**, Kuznetsov N., Chemale F.Gr., Dussen I., Dantas E. First U-Pb dating of a plagiogranit from Voykar massif, Polar Urals, Russia // VII South American Symposium on Isotope Geology. Short Papers. Brasilia, 2010. P. 397-400.
10. **Сычев С.Н.**, Куликова К.В. Анализ анизотропии магнитной восприимчивости метаморфитов зоны Главного Уральского разлома (р. Средний Кечпель, Полярный Урал) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 20-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2011. С. 164-168.
11. **Сычев С.Н.**, Куликова К.В. Соотношение хрупких и пластических деформаций в зоне Главного Уральского разлома (южная часть Хараматалоуского блока, Полярный Урал) // Современное состояние наук о Земле. Материалы международной конференции, посвященной памяти Виктора Ефимовича Хаина, г. Москва, 1-4 февраля 2011 г. – М.: Изд-во Геологический факультет Московского Государственного Университета имени М. В. Ломоносова, 2011. С. 1829-1833.
12. **Сычев С.Н.**, Войтенко В.Н., Куликова К.В. Анализ анизотропии магнитной восприимчивости тектонитов зоны Главного Уральского разлома южной части Полярного Урала // Материалы II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского, 8-11 февраля 2011 г., Санкт-Петербург, ФГУП «ВСЕГЕИ». С. 42-47 (Общая и региональная геология).
13. **Сычев С.Н.** Анализ анизотропии магнитной восприимчивости пород в обрамлении массива Рай-Из (Полярный Урал) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-

Североуральского сегмента: Материалы 21-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 240-243.

14. **Сычев С.Н.** Деформационная характеристика пород зоны сочленения офиолитовых и палеоостроводужных комплексов южной части Полярного Урала на основе петромагнитных данных // Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского, 11-15 февраля 2013 г., Санкт-Петербург, ВСЕГЕИ. С. 830-834.

15. **Сычев С.Н.** Деформационная история зоны Главного Уральского разлома (южная часть Полярного Урала) // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Материалы XLVI Тектонического совещания Том II. М.: ГЕОС, 2014. С. 211-215.

16. **Сычев С. Н.,** Веселовский Р. В. Определение кинематических характеристик пород южной части Полярного Урала на основе данных об анизотропии магнитной восприимчивости // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. Т. II. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. С. 51-54.