На правах рукописи

САВИНСКИЙ Илья Александрович

Метаморфические комплексы HT/MT типа северо-западной части Иртышской зоны смятия (Восточный Казахстан)

25.00.04 – петрология и вулканология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель
кандидат геол.-минералогических
наук Владимиров Владимир
Геннадьевич

НОВОСИБИРСК – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН), г. Новосибирск

Научный руководитель: Владимиров Владимир Геннадьевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, старший преподаватель Новосибирского государственного университета.

Официальные оппоненты:

Макрыгина Валентина Алексеевна, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск).

Тишин Платон Алексеевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Томский государственный университет (г. Томск).

Ведущая организация: ФГБУН Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук (г. Владивосток).

Защита состоится 15 июня 2017 г. в 13-00 на заседании диссертационного совета Д 003.067.03, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, в конференц-зале.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3;
факс: (383) 333-27-92; e-mail: turkina@igm.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИГМ СО РАН.
Адрес сайта: http://www.igm.nsc.ru, раздел «Образование»

Автореферат разослан 4 мая 2017

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.г.-м.н. О.М. Туркина

Введение

Актуальность исследований. Происхождение и тектоническая позиция высокометаморфизованных пород, расположенных в пределах трансрегиональных тектонических зон, имеет первостепенное значение для расшифровки тектоно-метаморфической и геодинамической истории, как самих глубинных разломов, так и региона, где они расположены. Эталонным примером в этом отношении может служить Иртышская зона смятия (ИЗС) – крупнейшая сутура Центрально-Азиатского складчатого пояса, отделяющая в своей северной части аккреционно-коллизионные образования Обь-Зайсанского палеобассейна от островодужных комплексов Рудного Алтая. Длительная история Иртышского глубинного разлома привела к формированию в ее пределах коллажа магматических, метаморфических и осадочных пород, претерпевших совместно полистадийные хрупко- и вязкопластичные деформации. Несмотря на более чем столетний период геологического изучения региона, для Иртышской зоны смятия до сих пор остаются актуальными вопросы происхождения метаморфических пород НТ/МТ типа – их субстрат, возраст и тепловые источники, параметры метаморфизма. На первый план при геодинамических построениях выступают также вопросы корреляции процессов метаморфизма, магматизма и тектонических обстановок.

Объекты исследований. В диссертационной работе к метаморфическим породам НТ/МТ типа Иртышской зоны смятия отнесены породы повышенных ступеней метаморфизма, уровень которых превышает зеленосланцевую фацию. Для характеристики высокометаморфизованных пород Иртышской зоны смятия выбраны два опорных сегмента – Предгорненско-Верхнеберезовский (***ПВС***) и Чечекский (***ЧС***). В пределах *Предгорненско-Верхнеберезовского сегмента* детально изучены различные типы переходов от ставролит-кианитовых сланцев во вмещающие породы (Верхнеберезовский и Предгорненский участки). В пределах *Чечекского сегмента* – проведено всестороннее исследование пород, слагающих купольную гранитогнейсовую структуру. В совокупности, выбранные объекты позволяют охарактеризовать породы северо-западной части Иртышской зоны см, различающиеся в широком диапазоне как по уровню метаморфизма и интенсивности деформаций, так и по возрасту. Вспомогательными объектами являются выходы пород НТ/МТ типа на участках Согра, Подгорное, Огневка.

Цель исследований – характеристика и типизация метаморфических пород НТ/МТ типа северо-западной части Иртышской зоны смятия.

Основные задачи:

1. Уточнить геологическое строение и провести структурно-петрологическое исследование северо-западной части Иртышской зоны смятия, включая блоки высокометаморфизованных пород.

2. Изучить петрографический и петрогеохимический состав кристаллических сланцев и их осадочного обрамления с целью выявления субстрата пород, претерпевших метаморфизм средних и высоких степеней метаморфизма.

3. Провести парагенетический анализ, выявить до-, син- и посткинематические парагенезисы кристаллических сланцев, оценить PT-параметры их метаморфизма.

4. Оценить возраст высокометаморфизованных пород северо-западной части Иртышской зоны смятия.

5. Изучить петрографический и петрогеохимический состав габброидов прииртышского комплекса и Суровского массива как возможных тепловых источников метаморфизма HT/MT типа Иртышской зоны смятия.

6. Провести типизацию высокометаморфизованных пород Иртышской зоны с учетом их тектонической позиции и геодинамических обстановок формирования.

Фактический материал и личный вклад автора. В основе работы лежат результаты полевых исследований 2009-2016 года, а также опубликованные материалы и данные, предоставленные научным куратором (В.Г. Владимиров). При подготовке диссертации проанализирован фактический материал более чем 1500 точек наблюдения, охватывающие выходы метаморфических пород на всем протяжении казахстанского сегмента Иртышской зоны. Это позволило выбрать наиболее информативные объекты и сконцентрировать на них структурно-петрологические, петрогеохимические, микрорентгеноспектральные и другие виды анализов горных пород и минералов. Структурно-кинематический анализ включает полевое и камеральное исследование более 500 обнажений, 106 образцов (в т.ч. 83 ориентированных образца), более 200 замеров плоскостных и линейных деформационных структур. Парагенетический и микрорентгеноспектральный анализ минеральных ассоциаций проводился в структурно ориентированных шлифах (1120 определений состава минералов по 21 образцам из 15 обнажений). Структурно-петрологический анализ проведен более чем по 100 ориентированным шлифам. Ar/Ar изотопные геохронологические исследования включают 5 определений. Для целей петрогеохимических исследований выполнено 108 анализов методом РФА и 14 анализов ICP-MS магматических и метаморфических пород.

Содержания петрогенных элементов в породах проанализированы атомно-абсорбционным (атомно-абсорбционный спектрофотометр SOLAAR M6 Thermo Elemental) и спектрофотометрическим (спектрофотометрический комплекс Genesys 10S Thermo Fisher Scientific) методами анализа в ИЗК СО РАН (г. Иркутск). Содержания редких и редкоземельных элементов определялись методом ICP-MS в ИГМ СО РАН на приборе ELEMENT производства компании FINIGAN (аналитики – И.В. Николаева, С.В. Палесский). Анализ состава минералов проводился в ИГМ СО РАН на микроанализаторах «Camebax-Micro» и «Jeol JXA-100» (аналитик Е.Н. Нигматулина).

Большая часть работ проводилось при непосредственном участии автора, либо самостоятельно. Все петрогеохимические исследования пород, включая анализ и реконструкция субстрата метаморфических пород выполнены автором лично.

Основные защищаемые положения:

1. Ставролит-кианитовые сланцы северо-западной части Иртышской зоны смятия претерпели субвертикальное тектоническое экспонирование и наложенный метаморфизм в гипабиссальных условиях. Поздний этап метаморфизма (290-280 млн лет) относится к андалузит-силлиманитовому типу. Он генетически связан с базитовым магматизмом прииртышской серии и представлен продуктами ороговикования как ставролит-кианитовых сланцев, так и отложений такырской серии и кыстав-курчумской свиты.

2. Чечекская гранитогнейсовая структура представляет собой купольное образование, сформировавшееся на рубеже 312 млн лет в гипабиссальных условиях при тектоно-магматической активизации Иртышской зоны смятия. Базитовый магматизм (Суровский массив) обеспечил метаморфизм кордиерит-гранат-силлиманитового типа и автохтонное плавление, а тектонический фактор способствовал процессам куполообразования и перемещения гранитоидных масс.

3. Первичным субстратом пород высоких и средних ступеней метаморфизма северо-западной части Иртышской зоны смятия служили преимущественно отложения (алевролиты и алевропесчаники) такырской серии и кыстав-курчумской свиты Калба-Нарымской структурно-формационной зоны.

4. В пределах северо-западной части Иртышской сдвиговой зоны установлены три основных типа метаморфизма НТ/МТ типа, различающиеся возрастом, тепловыми источниками и происходившие в различных тектонических обстановках. **Первый тип** (кианит-ставролитовый, P = 6-8 кбар, T=550-680^{0}C, возраст – 320 - 340 млн лет) отвечает коллизионным обстановкам сжатия и максимальной мощности коры в регионе. **Второй тип** (кордиерит-гранат-силлиманитовый, P = 4-6 кбар, T<750^{0}C, возраст - ~ 312 млн лет) генетически связан с базитами Суровского массива на пике коллизионных обстановок транспрессии и заложении Калба-Нарымского разлома. **Третий тип** (андалузит-силлиманитовый, P = 3-3,5 кбар, T=550-560^{0}C, возраст - 290-280 млн лет) обусловлен тепловым воздействием базитов прииртышского комплекса при их внедрении в Иртышскую зону в период активизации левосдвиговых деформаций в трансформно-сдвиговых обстановках.

Научная новизна. Получены новые данные о тектонической позиции, составе, возрасте и первичном субстрате высокометаморфизованных пород в северо-западной части Иртышской зоны смятия. Установлено, что минеральные ассоциации ставролит-кианитовых сланцев северо-западной части Иртышской зоны являются неравновесными и представляют собой продукт процессов полиметаморфизма. Впервые для Иртышской зоны смятия выделены три типа метаморфизма для

высокометаморфизованных пород (кианит-ставролитовый тип, кордиерит-гранат-силлиманитовый тип, андалузит-силлиманитовый тип). Для каждого из типов установлены PT-условия метаморфизма, определены тепловые источники, обоснованы тектонические обстановки и возраст метаморфизма пород.

Научная (теоретическая) значимость изучения Иртышской зоны смятия заключается в том, что она является крупнейшей сдвиговой зоной (shear zone) Центрально-Азиатского складчатого пояса. Ее эволюция, обстановки и этапы реактивации, синтектонический метаморфизм и магматизм во многом определяют закономерности строения и эволюции всего пояса. Главными особенностями Иртышской зоны являются длительность и многоэтапность процессов деформаций на границах крупных блоков земной коры. Показано, что метаморфические блоки в коллаже сдвиговой зоны – это результат преимущественно субвертикального транспонирования метаморфизованных пород вдоль основных сместителей и неоднократного инъецирования в ослабленные зоны магматических расплавов из мантийных источников.

Практическая значимость. Работа представляет собой пример комплексного изучения эволюции континентальных шовных зон, которое приобретает особое значение при постановке поисково-прогнозных работ в тектонических зонах сдвигового генезиса. Проведенные исследования по типизации типов метаморфизма для высокометаморфизованных пород, характеристике кинематики и возраста деформаций Иртышской зоны смятия позволяют экстраполировать результаты исследований на Российскую часть Иртышской зоны смятия, где она перекрыта осадочными отложениями.

Соответствие результатов работы научным специальностям.

Результаты работы соответствуют пункту 6 (метаморфические породы, фации и формации; эпохи и геодинамические обстановки метаморфизма, тектоно-метаморфические циклы, эволюция метаморфизма в истории Земли; фазовые равновесия минералов, определение PT-параметров и реконструкция PT-трендов; парагенетический анализ метаморфических пород) паспорта специальности 25.00.04.

Апробация работы и публикации. Основные результаты диссертационной работы представлены на всероссийской конференции, посвященной 150-летию академика Ф. Ю. Левинсона-Лессинга и 100-летию профессора Г. М. Саранчиной (г. Санкт-Петербург, 2012); на 45-ом тектоническом совещании (г. Москва, 2013); на Байкальской молодежной научной конференции по геологии и геофизике (Горячинск, 2015). Результаты исследований по теме диссертации изложены в 11 работах, из них 3 статьи в журналах из списка ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, Заключения, 5 приложений и списка литературы (168 наименование), содержит 79 рисунков и 14 таблиц, всего 180 страниц без учета приложений.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю к.г.-м.н. В.Г. Владимирову за предоставленные материалы, совместные исследования и полевые работы, а также специалистам ИГМ СО РАН: д.г.-м.н. А.Э. Изоху, д.г.-м.н. А.Г. Владимирову, д.г.-м.н. Н.Н. Круку, д.г.-м.н. С.Н. Рудневу, д.г - м.н. О.М. Туркиной, д.г.-м.н. И.И. Лиханову, д.г.-м.н. Г.Г. Лепезину, к.г.-м.н. С.В. Хромых, к.г.-м.н. В.П. Сухорукову и всем сотрудникам лаборатории № 211 ИГМ СО РАН за ценные советы, консультации и обсуждение материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке и в рамках: 1) Базовый проект фундаментальных исследований ИГМ СО РАН № VIII.72.2.2; 2) проекты РФФИ: № 16-35-00243 («Происхождение Чечекской купольной структуры: метаморфическая и геохимическая зональность, тепловые источники, тектонический контроль»); № 15-35-20815 «Эволюция механизмов мантийно-корового взаимодействия в истории развития позднепалеозойского магматизма Центральной Азии (на примере Алтайской коллизионной системы герцинид)»; 4) Проект ПФИ СО РАН – ДВО РАН – УрО РАН (проект 77) «Магматизм, метаморфизм и рудогенерирующий потенциал алтаид и уралид»; 5) Интеграционный проект в рамках Программы ОНЗ 10.3. «Процессы крупномасштабного внутриконтинентального растяжения»; 6) Комплексная программа фундаментальных исследований СО РАН ОНЗ 10.1 № II.2П «Интеграция и развитие»; 7) Проект № 5.1688.2017/ПЧ Министерства образования и науки РФ.

Глава 1. Геологическое строение Иртышской зоны смятия. Общая информация

Иртышская зона смятия сформировалась в позднем палеозое в результате «мягкой» коллизии Сибирского и Казахстанского континентов [Владимиров и др., 2005]. Располагаясь на границе Рудного Алтая и Обь-Зайсанского палеоокеанического бассейна, она сложена преимущественно тектонизированными породами Калба-Нарымской структурно-формационной зоны (кыстав-курчумская (D_{2gv}) свита, такырская серия (D_3-C_1), габброидные и гранитоидными комплексы) (Приложение 1).

В диссертационной работе при рассмотрении габбро-гранитных комплексов за основу взяты подразделения, выделенные ранее А.М. Марьиным [1981]. При характеристике метаморфических пород автор опирается на фациальный принцип, наиболее часто используемый в работах предшественников [Ермолов, 1984-2013 и др.].

В строении ИЗС традиционно выделяют блоки средне- и высокоградных пород, заключенные в матрикс низкотемпературных бластомилонитов (зеленосланцевая фация). Переходы от высокометаморфизованных к слабо- и неметаморфизованным породам могут быть как постепенные, так и резкие, контролируемые разрывными нарушениями. Уровень метаморфизма высокометаморфизованных пород варьирует как по температуре (от эпидот-амфиболитовой до гранулитовой фации), так и по давлению (от роговиков до фаций повышенных давлений). Существуют различные взгляды на происхождение глубокометаморфизованных пород. Считается, что они имеют палеозойский возраст и образовались в результате теплового воздействия

габброидов и гранитоидов, внедрившихся в зону смятия [Хорева, 1963]. Согласно другой концепции, глубокометаморфизованные литоны являются эксгумированными фрагментами докембрийского фундамента [Ермолов, Полянский, 1980], либо инородными объектами, которые перемещены по латерали вдоль Рудного Алтая [Берзин, Кунгурцев 1996; Буслов и др., 2013].

Одной из главных задач диссертационной работы является проведение типизации высокометаморфизованных пород Иртышской зоны, а именно идентификация субстрата, оценка возрастных рубежей проявления термальных событий, их привязка к тектоническим и геодинамическим обстановкам. Опираясь на собранные и опубликованные материалы, установлено, что для выполнения целей и задач настоящей работы (см. Введение) наиболее информативны два сегмента ИЗС (Предгорненско-Верхнеберезовский и Чечекский), включающие основные типы метаморфизма и тектонические обстановки их формирования.

Глава 2. Методы и методические подходы

Для изучения опорных объектов Иртышской зоны смятия использовался единый комплекс методических подходов и методов – это структурно-петрологические, структурно-кинематические, парагенетические, микрорентгеноспектральные, изотопно-геохронологические, петрогеохимические исследования горных пород и тектонических структур.

Кинематика деформаций и синкинематическое минералообразование изучались в структурно-ориентированных петрографических шлифах. После анализа микроструктур в информативных шлифах на микрозонде были получены составы сосуществующих минералов и оценены параметры метаморфизма в ПО «Thermocalc».

Базовым подходом при оценке возраста и синхронности тектонических и магматических событий служил методический подход, опирающийся на анализ синкинематичности минералообразования, связанного с процессами ороговикования. В случае положительного решения об их синхронности, результаты изотопных геохронологических исследований возраста интрузий распространялись и на деформации, а обстановки и условия минералообразования в роговиках брались за основу при обсуждении условий внедрения и становления интрузий.

В совокупности, данный комплекс методических подходов позволил получить новые данные, касающиеся характеристики, возраста и тепловых источников для высокометаморфизованных пород, а также деформаций пород и сопряженного магматизма при реактивации Иртышской сдвиговой зоны.

Глава 3. Предгорненско-Верхнеберезовский сегмент ИЗС

Предгорненско-Верхнеберезовский сегмент (ПВС) представляет собой сечение ИЗС, позволяющее охарактеризовать слабометаморфизованные черносланцевые отложения такырской серии (D_3) и карбонатно-терригенные образования кыстав-курчумской (D_2) свиты, роговики на контакте с габброидами *приртышского комплекса* (по [Марьин, 1966-1981]), граниты и лейкограниты калбинского

комплекса, метаморфические породы зеленосланцевого и высокобарического комплексов (по [Ермолов и др., 1984]), низко-, средне- и высокотемпературные милониты и бластомилониты пара- и ортопород. Особенностью блоков высокометаморфизованных пород ИЗС, является то, что они заключены в матрикс пород зеленосланцевой фации. Кроме того, возможно тепловое воздействие габброидных интрузий на метаморфизм и структурные характеристики пород в сдвиговой зоне. Обрамление блоков составляют милониты и бластомилониты зеленых сланцев с переходом в ставролит-кианитовые сланцы [Владимиров, 1990].

3.1. Верхнеберезовский участок

Особенностью местоположения Верхнеберезовского участка является то, что он располагается в краевой части Предгорненской пластины вблизи Калба-Нарымского разлома. Здесь обнажаются габброиды Верхнеберезовского массива (прииртышский комплекс), в экзоконтакте которого закартированы пегматиты в зонах растяжения и глиноземистые сланцы (Mrg+Ky+And+Sil) с признаками субвертикальных деформаций. На удалении от габброидов распространены лишь слабометаморфизованные и, как правило, недеформированные отложения такырской серии (D_3). Структурный анализ показал, что тектоническое экспонирование кианитовых сланцев в верхние уровни коры (уровень отложений такырской серии) было синхронно, либо предшествовало внедрению габброидов.

В мелкозернистых габброидах на контакте с кианитовыми сланцами отчетливо проявлена «гнейсовидность». На удалении от контакта в среднезернистых массивных габбро появляются системы трещин, заполненные лейкократовыми разностями базитов. Такой характер текстур габброидного массива может свидетельствовать о деформациях в период становления массива.

Ороговикование со стороны габброидов происходило на гипабиссальном уровне, что привело к прогреву как кианитовых сланцев, так и осадков такырской серии. Для оценки параметров метаморфизма из роговиков была отобрана серия образцов, в том числе ориентированных, позволившие связать деформационные процессы и метаморфогенное минералообразование, оценить PT-параметры ранних и наложенных парагенезисов.

В высокоглиноземистых метапелитах зафиксирована минеральная ассоциация Qz+Pl±Kfs+Grt+Bt+Ms±Mrg±Ky+And+Sil±Chl, в биотитовых сланцах – Qz+Pl+Kfs+Grt+Bt±Chl. При микроскопическом изучении Ky сланцев можно наблюдать последовательное замещение: Ky → And → Sil – Ms. Для кианитовых сланцев PT-параметры метаморфизма отвечают (средние значения, N=10): T=596°±14°C, P=5.0+0.2кбар. Следует отметить, что близкие оценки характерны и для ставролит-кианитовых сланцев Предгорненского участка (см. далее). В сланцах в отстутствие кианита более низкие параметры (средние значения, N=12): T=554°±7°C, P=3.0±0.1 кбар. Полученные две группы значений отвечают полиметаморфическим процессам. Повешенные температуры и давления отвечают раннему этапу и

характеризуются ассоциациями с кианитом. Вторая группа с умеренными температурами и давления связаны с ороговикованием (близость массива габброидов, появление пегматоидов в зонах растяжения, полиморфные замещения кианита).

Для Верхнеберезовского участка по мусковитам из кианитовых сланцев (оторочка хиастолита/кианита/силлиманита) и пегматитов из жил растяжения методом ступенчатого отжига получены определения возраста закрытия K/Ar изотопной системы: 285.2 ± 3.5 (Ar/Ar, образец КТ590А, мусковит, вал) и 286.5±3.6 млн лет (Ar/Ar, образец КТ597, мусковит, вал). Можно было бы предположить, что полученные возраста отвечают более позднему прогреву пород, однако это сложно допустить, поскольку исследованные образцы и обнажения достаточно локальны и расположены среди неметаморфизованных отложений такырской серии. Поскольку возраста получены для мусковита из оторочек андалузита и жил растяжения, то с учетом их совпадения с датировками бластомилонитов [Травин и др., 2001], возраст ~285 млн лет, отвечает как возрасту ороговикования, так и пермской реактивации Иртышской зоны смятия.

3.2. Предгорненский участок

Это второй опорный участок в Предгорненско-Верхнеберезовском сегменте, который расположен севернее от предыдущего непосредственно в осевой зоне ИЗС. Он характеризует контакт ставролит-кианитовых сланцев с хлорит-мусковитовыми низкотемпературными милонитами. Большинство скальных выходов ставролит-кианитовых и хлоритовых сланцев характеризуются монотонным залеганием и сходным типом деформаций – это вязко- и хрупкопластичные деформации с левосторонней кинематикой. Установлено, что с приближением к северо-восточному контакту в кианитовых сланцах появляются признаки наложенного метаморфизма, проводящего к диафторезу пород. Было сделано предположение, что это может быть связано с тепловым воздействие со стороны габброидов. Действительно, в ходе картировочных работ, на границе с хлорит-мусковитовыми сланцами автором были установлены цепочки небольших габброидных тел прииртышского комплекса. Они приурочены к осевой части ИЗС и, как следствие, сильно амфиболизированны и вовлечены в деформации. Структурно-кинематический анализ деформаций габброидных тел подтвердил их внедрение в сдвиговых условиях.

Высокометаморфизованные породы Предгорненского участка Иртышской зоны смятия, представляют собой пластину Ky сланцев, заключенную в матрикс бластомилонитов и милонитов средних и верхних ступеней фации зеленых сланцев (преимущественно это хлоритовые и хлорит-актинолитовые сланцы – Pl-Act-Ep, Qz-Pl-Act-Ms, Qz-Pl-Act-Bt-Chl, Qz-Pl-Chl, Qz-Pl-Ms) [Владимиров, 1990]. Вдоль всего профиля, пересекающего контакт между ними, был уточнен минералогический состав и выделены ассоциации: Qz+Pl+Bt+Ms+Chl±Grt±St±Sil±Ky, Qz+Pl+Bt+Ms±Grt+Chl, Qz+Pl+Chl+Ms. При переходе из зоны бластомилонитов, отвечающих ассоциации Qz+Pl+Bt+Ms+Chl±Grt±St±Sil±Ky, в зону слабометаморфизованных пород

(Qz+Pl+Chl+Ms), отмечено последовательное исчезновение крупных порфиробластов Ky, St и далее Sil, появление Grt второй генерации. Зафиксировано, что в направлении к контакту в пластине кианитовых сланцев происходит возрастание температур и давлений, а потом скачкообразное падение при переходе тектонической границы. Получено, что PT-параметры метаморфизма кианитовых сланцев укладываются в диапазон по температуре от 570°С до 645°С и по давлению от 5.9 до 6.9 кбар. Несмотря на то, что PT-параметры метаморфизма зеленых сланцев на тектоническом контакте существенно ниже, чем в кианитовых сланцах – 540°С-545°С и 3.0-3.1 кбар – их вряд ли можно отнести в область зеленосланцевого метаморфизма. В тоже время, их совпадение с результатами Верхнеберезовского участка позволяет говорить о процессах локального прогрева (ороговикования) на границе толщ различной компетенции.

Совокупность полученных геологических данных по Верхнеберезовско-Предгорненскому сегменту ИЗС позволило сформулировать **первое защищаемое положение**: «Ставролит-кианитовые сланцы северо-западной части Иртышской зоны смятия претерпели субвертикальное тектоническое экспонирование и наложенный метаморфизм в гипабиссальных условиях. Поздний этап метаморфизма (290-280 млн лет) относится к андалузит-силлиманитовому типу. Он генетически связан с базитовым магматизмом прииртышской серии и представлен продуктами ороговикования как ставролит-кианитовых сланцев, так и отложений такырской серии и кыстав-курчумской свиты».

Глава 4. Чечекская гранито-гнейсовая структура

Высокометаморфизованные породы Чечекского сегмента слагают гранитогнейсовую структуру в одноименном блоке ИЗС, ограниченном с севера – Иртышско-Маркакульским, с юга – Калба-Нарымским разломами (Приложение 1, 2). Это уникальная куполовидная структура, заключенная по периферии серповидным телом габброидов Суровского массива. Последний, судя по геофизическим данным и бурению, представляет собой лополит, южные контакты которого погружаются на север с углами 40-50^0, а восточный и западный контакты – полого на восток. Мощность чашеобразного габброидного тела на севере оценивается в 450 м. Особенностью Суровского массива является его неоднородное строение. Основной объем сложен преимущественно лейко- и мезогабброидами с прослоями меланогаббро и габброанортозитов. В южной части массива, в зоне Калба-Нарымского разлома с деформациями со взбросовой кинематикой, обнажены фрагменты оливинового габбро и габбронноритов, лейкотроктолитов и анортозитов. Можно предположить, что на южном контакте сформирован тектонический меланж разноглубинных базитов, претерпевших внутрикамерную дифференциацию.

Для характеристики метаморфизма высокометаморфизованных пород и купольной структуры было проведено картирование, а также структурно-кинематические, парагенетические, термохронологические и петрогеохимические

исследования по всей площади Чечекского сегмента. Было установлено, что при переходе от пород обрамления к краевой части гранитогнейсовой структуры деформации сдвигового генезиса сменяются пологими сбросами, выражающимися в форме межслоевого соскальзывания горизонтов биотит-роговообманковых гнейсов с пород «основания». Складки межслоевого скольжения сопровождаются вязким будинированием как компетентных горизонтов Qtz-Pl-Hbl состава, так и пластичных существенно кварцевых прослоев. Наличие роговой обманки с плагиоклазом, двуслюдяные ассоциации указывают на условия метаморфизма выше зеленосланцевой фации. При переходе от краевой части к центральной в Чечекской гранитогнейсовой структуре возрастает доля автохтонных гранитоидов. Наличие в породе Grt, Sil, (фибролита) и Crd указывают на их коровое (первично осадочное) происхождение [Rudnic, 1995]. При пересечении центральной части Чечекской структуры в рельефе отчетливо проявляется куполообразная форма с пологим залеганием пород. Деформации пород Чечекского купола отсутствуют, либо имеют пятнистый или послойный характер. В последнем случае они проявляются в виде структур течения и отвечают по кинематике взбросовым движениям.

Наличие гранобластовых и коронитовых структур, рудиментный характер деформаций указывают на продолжительный период теплового воздействия на породы, в процессе которого они подверглись перекристаллизации и частичному плавлению, а деформационные структуры были частично затушеваны.

Расчет PT-параметров для парагенезисов пород центральной и краевой частей купольной структуры показал, что поле устойчивости высокоглиноземистых парагенезисов из гранитогнейсов Чечекской структуры находится в интервале: T=665-720°C, P=4-6 кбар, что отвечает верхней границе амфиболитовой фации и условиям выплавления средне обводненных кислых расплавов [Spear, 1995]. В тоже время, результаты расчетов условий метаморфизма из внешнего экзоконтакта габброидного массива существенно ниже (T=500-550°C, P=3-4 кбар) и отвечают Gr-And роговикам.

Возраст метаморфизма оценивался методом $^{40}Ar/^{39}Ar$ датирования – он отвечает возрасту закрытия изотопной системы 312.3+2.9 млн. лет (верхний карбон), что идентично оценкам возраста габброидов Суровского массива (U/Pb, циркон [Хромых и др., 2016]). Полученные данные существенно отличаются от полученных ранее для бластомилонитов Иртышской сдвиговой зоны, когда были выделены два раннепермских тепловых импульса, синхронных с деформациями сдвигового генезиса с левосторонней кинематикой: 283-276 и 272-265 млн лет [Травин и др., 2001].

Проведенные исследования позволили непротиворечиво увязать комплекс данных, касающихся морфологии Суровского габброидного массива (лополит), времени куполообразования, кинематики деформаций и тепловых источников высокоградиентного метаморфизма (базитовый магматизм). Это позволяет

утверждать, что до рубежа 312 млн. лет в пределах ИСЗ тектонические движения сдвигового генезиса отсутствовали. Иными словами, рубеж в 312 млн. лет является верхней границей начала постколлизионных событий, имевших место вдоль Иртышской сутуры при закрытии Обь-Зайсанского палеобассейна.

Проведенные исследования позволяют сформулировать **второе защищаемое положение**: «Чечекская гранитогнейсовая структура представляет собой купольное образование, сформировавшееся на рубеже 312 млн лет в гипабиссальных условиях при тектоно-магматической активизации Иртышской зоны смятия. Базитовый магматизм (Суровский массив) обеспечил метаморфизм кордиерит-гранат-силлиманитового типа и автохтонное плавление, а тектонический фактор способствовал процессам куполообразования и перемещения гранитоидных масс».

Глава 5. Корреляция вещественного состава метаморфических (Иртышской зоны смятия) и осадочных (Калба-Нарымской зоны) пород

Для выяснения происхождения высокометаморфизованных пород Иртышской зоны необходимо было решить, являются ли они инородными блоками, вовлеченными в процессы сдвиговой тектоники, или это продукты метаморфизма осадочных комплексов, непосредственно прилегающих и слагающих Иртышскую зону смятия (такырская серия и кыстав-курчумская свита). С этой целью были проведены петрогеохимические исследования (Приложение 3, 4), в задачи которых входило следующее: 1) корреляция вещественного состава высокометаморфизованных пород Предгорненского, Верхнеберезовского и Чечекского блоков с осадочным обрамлением ИЗС; 2) реконструкция природы протолитов высокометаморфизованных пород.

Петрохимические составы осадочных пород (n=77) из обрамления ИЗС оценивались только статистически, без дробного разделения на алевролиты, песчаники и глинистые сланцы. Показано, что содержания SiO_2, TiO_2, $Fe_2O_3^*$+MgO, CaO в осадках характеризуется двумя четко выраженными максимумами. В меньшей степени они выражены для Na_2O+K_2O. Петрохимические анализы и концентрации редкоземельных элементов метапелитов высокометаморфизованных пород для всех блоков не выявили особых различий между участками (Приложение 3, 4). При корреляции составов высокометаморфизованных пород с составами осадочных пород в обрамлении ИЗС выявлено, что субстратом для высокоглиноземистых метаморфических пород Чечекской структуры, Верхнеберезовского и Предгорненского участков могли служить одни и те же породы - алевролиты и алевропесчаники такырской серии и терригенные разновидности кыстав-курчумской свиты (Приложение 3, 4). Этот вывод подтверждаются сходными петрогеохимическими характеристиками осадочных серий, что, кроме того, указывает на отсутствие перемены источников сноса (с активной континентальной окраины Рудного Алтая) [Котлер и др., 2015]. Как следствие, можно утверждать, что

формирование метаморфических толщ ИЗС происходило “in situ”, то есть за счет метаморфизма осадков Калба-Нарымской зоны.

Проведенные петрогеохимические исследования позволили сформулировать **третье защищаемое положение**: «Первичным субстратом пород высоких и средних ступеней метаморфизма северо-западной части Иртышской зоны смятия служили преимущественно отложения (алевролиты и алевропесчаники) такырской серии и кыстав-курчумской свиты Калба-Нарымской структурно-формационной зоны».

Глава 6. Тепловые источники метаморфизма HT/MT типа пород северо-западной части Иртышской зоны смятия

Ключевым моментом при реконструкциях метаморфизма Иртышской зоны смятия является идентификация тепловых источников, достаточных для проявления средне-высокоградного метаморфизма на мезо- и гипабиссальных уровнях земной коры. Отсутствие данной информации ранее послужило основой для отнесения высокометаморфизованных пород к инородным тектоническим блокам, либо к отторженцам фундамента [Нехорошев, 1939; Хорева, 1963; Владимиров, 1987; Чиков, Зиновьев, 1996 и др.]. Недостаточная статистика определений параметров метаморфизма также приводила к ошибочным взглядам о возможном тепловом воздействии со стороны лейкогранитов и гранитов калбинского комплекса.

Опираясь на результаты исследований, изложенные в третьей и четвертой главах и опубликованные данные, в настоящем разделе обобщены сведения о базитовом магматизме Иртышской зоны смятия, обеспечившим тепловое воздействие на метаосадочные толщи на различных этапах ее эволюции. Рассмотрена тектоническая позиция и условия проявления метаморфизма St-Ky типа. При анализе базитовых интрузий проведено сравнение петрогеохимических характеристик, масштабы теплового воздействия, тектонические обстановки и деформации в эндо- и экзоконтакте. Полученная информация использовалась в заключительной главе, посвященной, типизации метаморфизма для высокометаморфизованных пород Иртышской зоны смятия.

Глава 7. Характеристика и типизация метаморфизма HT/MT типа в северо-западной части Иртышской зоны смятия

Опираясь на комплекс полевых исследований, оценки PT-параметров метаморфизма и синкинематического минералообразования, изотопно-геохронологические данные, тектонические обстановки и кинематику синметаморфических деформаций, проведена типизация средне-высокоградного метаморфизма Иртышской зоны смятия, позволившая выделить три основных группы.

Кианит-ставролитовый тип высокометаморфизованных пород проявлен в виде отдельных тектонически экспонированных на гипабиссальный уровень литонов пород с признаками полистадийных деформаций и полиметаморфизма (Приложение 5). Наиболее известные выходы St-Ky сланцев известны в Верхнеберезовском,

Предгорненском и Согринском блоках. Для минеральных ассоциаций Верхнеберезовского блока (Qz+Pl+Bt+Grt+Ky+St(?)) параметры метаморфизма оцениваются как: T=582-610^{0}C и P=5 кбар. Для ассоциаций Предгорненского блока (Qz+Pl+Bt+Grt+St+Ky±Sil) – T=550-650^{0}C и P=6-8 кбар. Субстратом метаморфизованных пород являются отложения такырской серии. Возраст метаморфизма отвечает периоду максимальной мощности коллизионного горноскладчатого сооружения и может быть соотнесен с периодом транспрессионного сжатия и орогении (340-320 млн лет).

На рубеже заложения Калба-Нарымского разлома, либо в период пермской активности Иртышского глубинного разлома отдельные фрагменты St-Ky сланцев были тектонически экспонированы и претерпели полиметаморфизм в процессе теплового воздействия базитовых интрузий.

Кордиерит-гранат-силлиманитовый тип зафиксирован только в Чечекском сегменте ИЗС в пределах одноименного гнейсогранитного купола, обрамленного Суровским габброидным массивом (Приложение 5). Происхождение как купольной структуры, так и метаморфизма средних и высоких ступеней генетически связано с эпизодом внедрения и синтектонического становления Суровского габброидного массива. Он обеспечил необходимый прогрев и проплавление вышележащих осадочных толщ (такырская серия и кыстав-курчумская свита), а после консолидации (312.3±2.9 млн лет) – «бронирование» от поздних (280-260 млн лет) левосдвиговых деформаций ИЗС. Чечекская структура сложена на 90% гнейсогранитами, в меньшей степени мигматитами и автохтонными гранитами. Параметры метаморфизма гнейсов и гнейсогранитов (Qz+Pl+Kfs+Bt±Ms+Sil+Grt) отвечают T=665-720°C, P=4-6 кбар.

Андалузит-силлиманитовый тип высокометаморфизованных пород трассируется вдоль всей Иртышской зоны в виде отдельных участков, пятен и тектонических блоков в зеленосланцевом комплексе. Высокая распространенность данного типа обусловлена его генетическим родством с базитами прииртышского комплекса. Тепловое воздействие со стороны габброидов привело к ороговикованию как осадочных толщ и милонитов (такырская серия и кыстав-курчумская свита), так и тектонически экспонированных блоков St-Ky сланцев. В первом случае, это привело к проградному метаморфизму осадков с возрастанием параметров по направлению к контактам с базитами. Во втором – к полиметаморфизму (диафторезу) кианитовых сланцев, что обусловило появление неравновесных ассоциаций (сосуществование Ky, And и Sil) (Приложение 5).

В St-Ky сланцах ороговикование приводит к появлению наложенных ассоциаций (Qz+Pl+Bt+Ms±Chl+Grt±And+Sil) с параметрами T=545-560°C и P=3-3.5 кбар. Метаморфизм осадочных пород и милонитов приводит к появлению ассоциаций Qz+Pl+Bt+Ms+Chl+Grt с параметрами T=540°C-545°C и P~3 кбар.

Возраст ороговикования пород и, соответственно, возраст габброидного массива, не превышает возрастной рубеж 285.2+3.5 млн лет. Внедрение и становление

прииртышского габброидного комплекса связано с периодом смены тектонического режима Иртышской зоны с транспрессионного на трансформно-сдвиговый с левосторонней кинематикой.

Опираясь на характеристику и типизацию метаморфизма НТ/МТ типа сформулировано **четвертое защищаемое положение**: «В пределах северо-западной части Иртышской сдвиговой зоны установлены три основных типа метаморфизма НТ/МТ типа, различающиеся возрастом, тепловыми источниками и происходившие в различных тектонических обстановках. **Первый тип** (кианит-ставролитовый, P = 6-8 кбар, T=550-680^{0}C, возраст – 320 - 340 млн лет) отвечает коллизионным обстановкам сжатия и максимальной мощности коры в регионе. **Второй тип** (кордиерит-гранат-силлиманитовый, P = 4-6 кбар, T<750^{0}C, возраст - ~ 312 млн лет) генетически связан с базитами Суровского массива на пике коллизионных обстановок транспрессии и заложении Калба-Нарымского разлома. **Третий тип** (андалузит-силлиманитовый, P = 3-3,5 кбар, T=550-560^{0}C, возраст - 290-280 млн лет) обусловлен тепловым воздействием базитов прииртышского комплекса при их внедрении в Иртышскую зону в период активизации левосдвиговых деформаций в трансформно-сдвиговых обстановках».

Заключение

Впервые для северо-западной части Иртышской зоны смятия проведены комплексные структурно-петрологические, парагенетические, петрогеохимические и изотопно-геохронологические исследования с целью характеристики и типизации высокоградного метаморфизма. Обоснована роль базитовых расплавов в качестве теплового источника метаморфогенных преобразований в условиях тектонической реактивации Иртышской зоны. Получены новые данные, касающиеся условий и параметров метаморфизма бластомилонитов и их возможного протолита. Этот комплекс данных позволил выяснить природу блоков высокометаморфизованных пород ИЗС. Показано, что в пределах Иртышской зоны и ее обрамления метаморфизму подверглись породы такырской и кыстав-курчумской свит, а также милониты по ним. Метаморфизм пород варьирует в широких пределах от зеленосланцевой до гранулитовой фации и, как правило, носит признаки полиметаморфизма и синкинематического минералообразования. Разнообразие метаморфических комплексов Иртышской тектонической зоны обусловлено длительной историей ее развития (340-260 млн лет) при последовательной смене геодинамических обстановок от субдукционно-аккреционной (зеленосланцевый тип) до коллизионной (ставролит-кианитовый; кордиерит-гранат-силлиманитового тип) и постколлизионной (андалузит-силлиманитовый). Поздние постколлизионные события имеют окраинно-континентальную трансформно-сдвиговую природу и сопровождались масштабным базитовым синтектоническим магматизмом (прииртышский комплекс) и связанным с ним метаморфизмом андалузит-силлиманитового типа (285-280 млн лет).

Список основных публикаций по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК:

1. **Савинский И.А.** Вещественный состав и изотопные характеристики гнейсогранитов Чечекской купольной структуры (Иртышская зона смятия, Восточный Казахстан) // Литосфера. 2016. №5. С 81-90.

2. **Савинский И.А.**, *Владимиров В.Г., Котлер П Д.* Природа субстрата метаморфических пород и гранитоидов Чечекской купольной структуры (Иртышская сдвиговая зона)// Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2016.№ 2 (26). С 121-134.

3. **Савинский И.А.**, Владимиров В.Г. Чечекская гранитогнейсовая структура (Иртышская зона смятия) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2015. –№1(21). – С.15-22.

Избранные материалы тезисов конференций и совещаний:

1. **Савинский И.А.**, Владимиров В.Г. Возраст высокоградиентного метаморфизма Чечекской гранитогнейсовой структуры (Восточный Казахстан) // Современные проблемы магматизма и метаморфизма: Материалы Всероссийской конференции, посвящ. 150-летию со дня рождения акад. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга и 100-летию со дня рождения профессора Г.М. Саранчиной (Санкт-Петербург, 1-5 октября 2012 г.). - СПб.: Изд-во СПбГУ, 2012. - Т. 2. - С. 197-200.

2. **Савинский И.А.**, Владимиров В.Г. Тектоническая позиция ставролит-дистеновых сланцев Иртышской сдвиговой зоны (Восточный Казахстан) // III Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов памяти акад. А.П. Карпинского, ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, 2013. СПб.: ВСЕГЕИ.- 93-96.

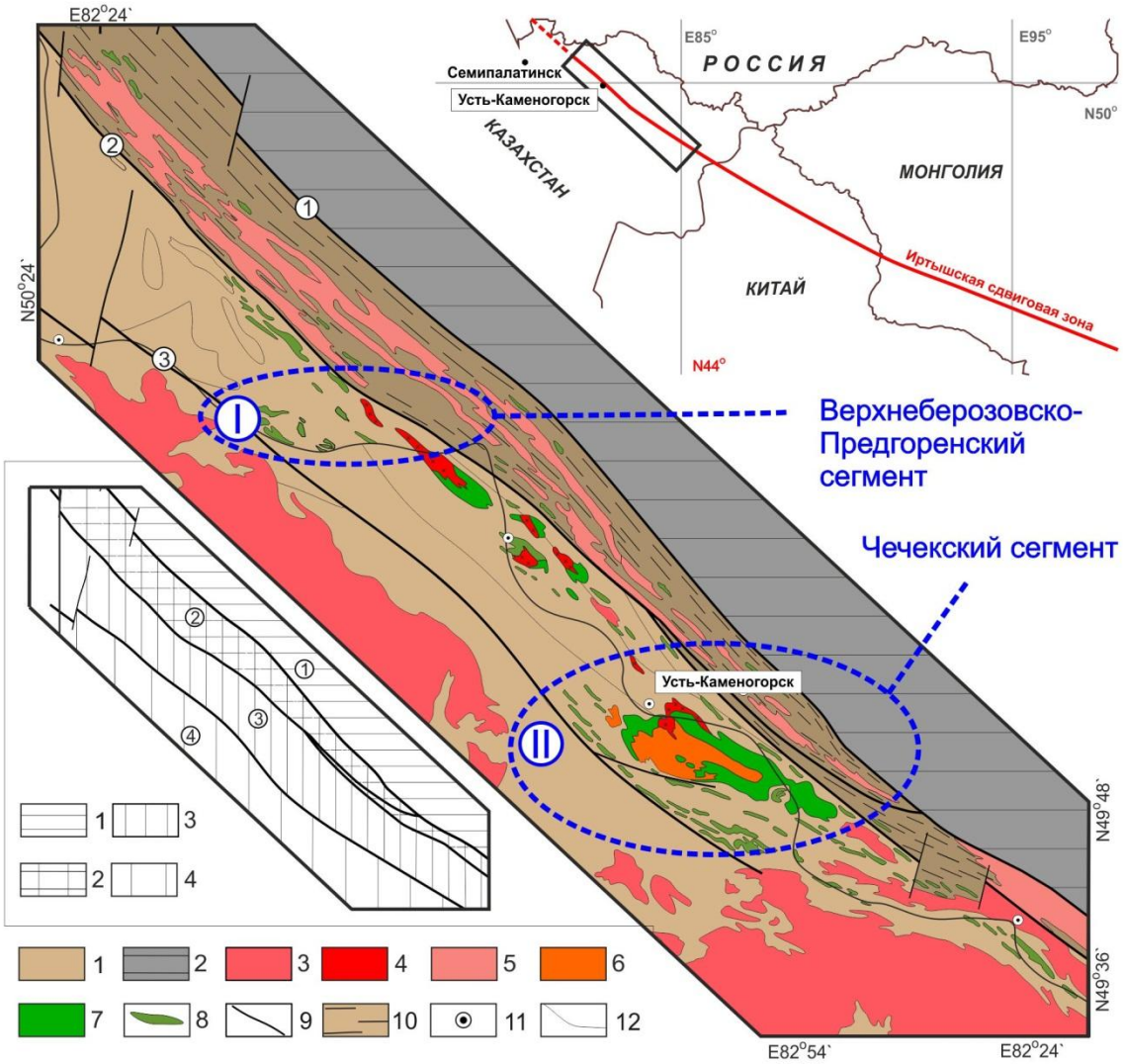
3. Владимиров В.Г., Савинский И.А., Травин А.В. Кинематика Иртышской сдвиговой зоны на границе 285-280 млн лет // Корреляция Алтаид и Уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения, Материалы второй Российско-Казахстанской международной конференции, Новосибирск, 2014. С. 73-76.

4. Савинский И.А., Владимиров В.Г. Купольная природа Чечекской гранитогнейсовой структуры (Иртышская сдвиговая зона, Восточный Казахстан) // Материалы 46 (XLVI) тектоническое совещание. 2014. Москва. - ГЕОС. Т.2. - С.166-169.

5. Савинский И.А., Владимиров В.Г. Первичный субстрат гранитоидов Чечекской купольной структуры (Иртышская зона смятия, Восточный Казахстан) // Корреляция алтаид и уралид (магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения): Материалы третьей международной науч. конф. (г. Новосибирск, 29 марта - 1 апреля 2016 г.). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. С. 152 - 153.

Приложение 1.

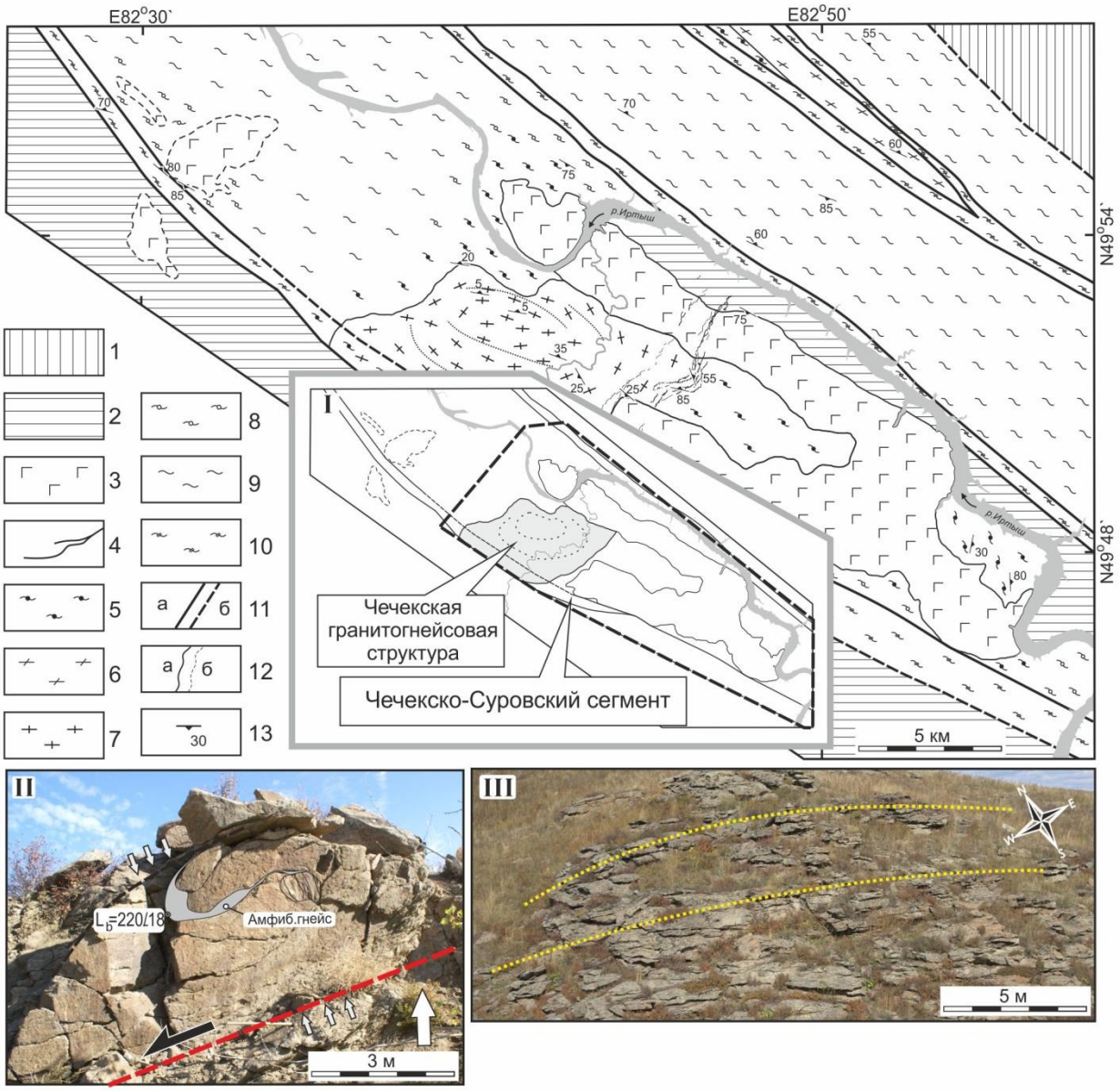
Схема расположения массивов Прииртышской гипербазит-габбро-плагиогранитовой ассоциации (Кузебный,1981):



1 - осадочные отложения такырской серии (D_3-C_1) и кыстав-курчумской свиты (D_2gv); 2 - герцинские нерасчлененные отложения Рудноалтайского террейна; 3 - гранитоиды калбинского комплекса (P_1); *габбро-гранитная прииртышская серия* (C_1) (4-8): 4 - гранит-сиенитовый комплекс, 5 - тела гранитоидов главной стадии, 6 - гнейсограниты Чечекского типа, 7 - габброиды суровского комплекса; 8 - дунит-гарцбургитовый комплекс; 9 - глубинные разломы, 10 - бластомилониты ИЗС, 11 - населенные пункты, 12 - структурные линии осадочных пород.
Положение опорных сегментов: I - Верхнеберезовско-Предгорненский, II - Чечекский.
Глубинные разломы (цифры на схеме): 1 - Иртышско-Маркакольский разлом, 2 - Главный осевой разлом, 3 - Калба-Нарымский. *Условные на врезке*: 1 - Рудноалтайская зона, 2 - Иртышская шовная зона, 3 - Калбинская зона, 4 - Прикалбинская зона.

Приложение 2.

Геологическая схема Чечекско-Суровского сегмента Иртышской сдвиговой зоны, Восточный Казахстан (с использованием материалов [Довгаль, 1995; Юрченков, 1981]).

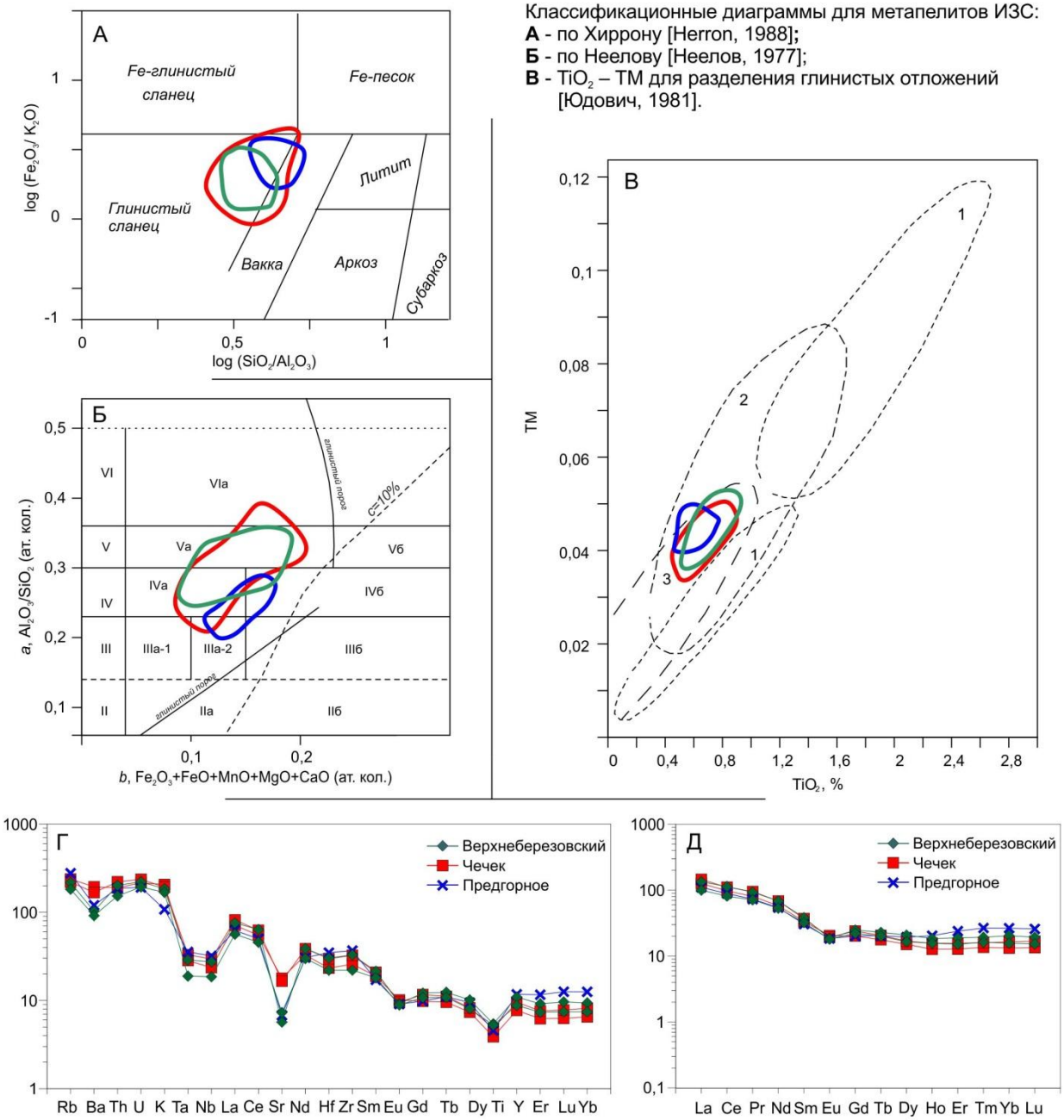


1 - карбонатно-терригенными отложениями кыстав-курчумской свиты (D_2gv); 2 - углеродисто-терригенными отложения такырской свиты (D_3 – C_1); 3 - нерасчлененные габброиды, диориты и габбро-нориты (C_1-P_1); 4 - топазовые цинвальдит-лепидолитовые граниты и онгониты (P_{1-2}); 5-7 – синколлизионная структурно -метаморфическая формация (C_{1-2}): 5 - бластомилониты метапелитового состава (биотитовые, гранат-биотитовые, биотит-гранат-силлиманитовые сланцы и гнейсы); 6 - бластомилониты метабазитового состава (роговообманковые сланцы и гнейсы, амфиболиты); 7 - гранитогнейсы и реоморфизованные гранитоиды; 8 - нерасчлененные син- и постколлизионные биотитовые сланцы и их бластомилониты; 9-10 – поздне- и постколлизионные синсдвиговые образования (P_{1-2}): 9 - хлорит-актинолитовые и хлорит-мусковитовые бластомилониты; 10 - катаклазиты; 11 - разломы и границы разломных зон (а - установленные, б - предполагаемые); 12 - геологические границы (а - установленные, б – предполагаемые или внутренние, подчеркивающие структуру и залегание пород); 13 - залегание пород. *На врезках*: I – положение Чечекской гранитогнейсовой структуры в Чечекско-Суровском сегменте ИСЗ; II – соскальзывание вышележащих горизонтов в краевой части Чечекской гранитогнейсовой структуры (обнажение КТ648); III – пологое залегание пород в центральной части Чечекской гранитогнейсовой структуры (обнажение Э-32).

Приложение 3.

Петрогеохимические характеристики высокоградных пород Иртышской зоны смятия.

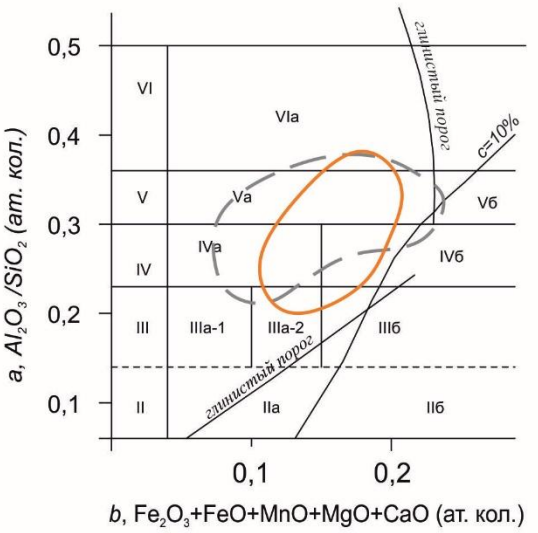
Классификационные диаграммы для метапелитов ИЗС:
А - по Хиррону [Herron, 1988]**;**
Б - по Неелову [Неелов, 1977];
В - TiO_2 – ТМ для разделения глинистых отложений [Юдович, 1981].



А-В. Петрохимические диаграммы состава кианит-ставролит-силиманитовых сланцев Предгорненского участка (синий цвет), андалузит-силлиманит-кианитовых сланцев и их роговиков Верхнеберезовского участка (зеленый цвет), гнейсограниты Чечекского участка (красный цвет). **Г-Д**. Редкоэлементный состав представительных образцов всех трех участков.

Приложение 4.

Корреляция химических составов метаморфических и осадочных пород Иртышской зоны смятия

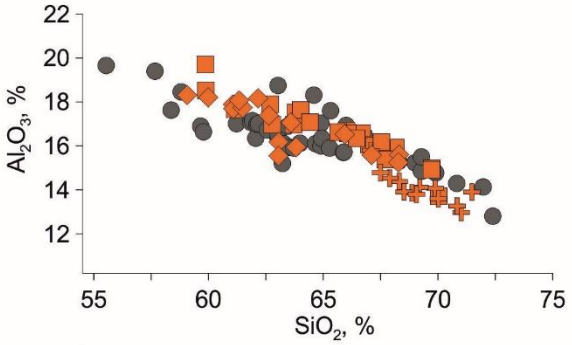


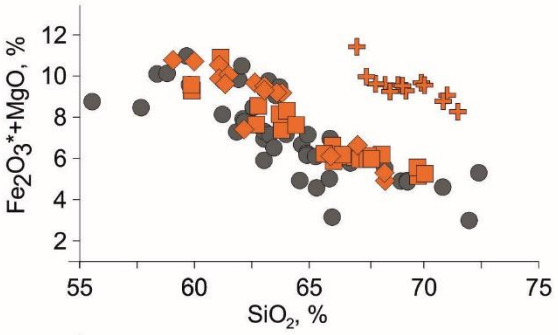
Поля составов пород ИЗС:

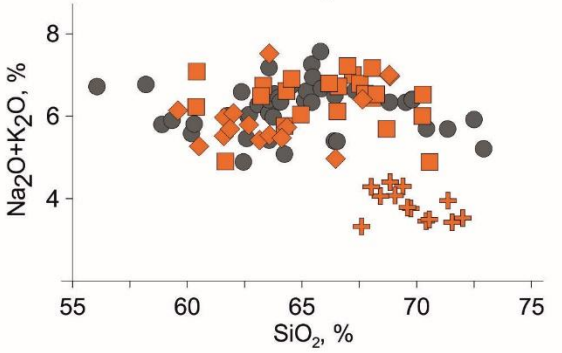
- алевролитов, алевропесчаников и песчаников кыстав-курчуской свиты и такырской серии, n(общ)=77
- высокометаморфизованных пород ИЗС, n(общ)=52

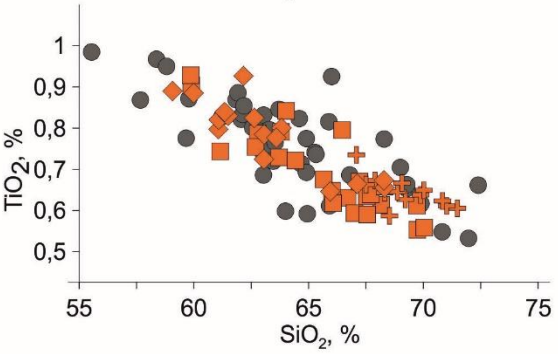
Петрохимические составы высокометаморфизованных пород ИЗС:

- андалузит-силлиманитовых сланцев Предгоненского участка, n=16
- андалузит-силиманит-кианитовых сланцев и их роговики Верхнеберезовского участка, n=13
- гнейсо-гранитов Чечекского участка n=23









Приложение 5

Эволюция метаморфизма северо-западной части Иртышской зоны смятия*

Тип метаморфизма	**Метаморфизм LT типа**	**Метаморфизм HT/MT типа**			**Метаморфизм LT типа**
	M1 зеленосланцевый	**M2 Ky-St тип**	**M3 Gr-Sill тип**	**M4** And-Sill и HT/LP тип**	**M5 зеленосланцевый**
	±Bt+Ms+Chl±Gr	Ky-St	Gr-Sill	And-Sill, HT/LP	Chl-Ms
PT-параметры	P = 2-3 кбар, T < 450 ^{0}C	P = 6-8 кбар, T < 680 ^{0}C	P = 4-6 кбар, T < 750^{0}C	P = 1.5-3.5 кбар, T=550-650^{0}C	P = 2-3 кбар, T < 450 ^{0}C
Субстрат	Осадочные породы такырской серии и кыстав-курчумской свиты	Осадочные и метаосадочные (**M1**) породы такырской серии и кыстав-курчумской свиты	Осадочные и метаосадочные (**M1, M2**) породы такырской и кыстав-курчумской свит	Осадочные и метаосадочные (**M1, M2, M3**) породы такырской серии и кыстав-курчумской свиты, ортопороды (S-граниты)	Осадочные и метаосадочные (**M1, M2, M3, M4**) породы такырской серии и кыстав-курчумской свиты, ортопороды (S-граниты)
Участки и районы проявления метаморфизма	На всем протяжении Иртышской зоны	Предгорненский, Верхнеберезовский, Овечий ключ (Согра)	Чечекский	Предгорненский, Верхнеберезовский, Согра, Подгорное и др.	На всем протяжении Иртышской зоны
Магматизм северо-западной части ИЗС	Отсутствует	Отсутствует (?)	Базитовый (Суровский массив) и гранитоидный (Чечекская структура)	Базитовый (прииртышский комплекс) и гранитоидный (калбинский, позднекалбинский комплексы)	?
Возраст, млн лет	> 340	340-320	320-310	310-280	280-240
Тектонический режим	Сжатие	Сжатие	Сжатие со сдвигом (транспрессионный)	Сдвиговый	Сдвигово-раздвиговый
Геодинамическая обстановка	Аккреционно-субдукционная	Раннеколизионная	Колизионная	Постколизионная	Трансформно-сдвиговая

Примечание:

* подготовлена совместно с В.Г.Владимировым;

** параметры метаморфизма контролируются положением до термальных источников (базитовых камер, либо базитовых массивов).