



УТВЕРЖДАЮ

Директор ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН

В.Н. Удачин

» _____ 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук на диссертационную работу Глушковой Вероники Евгеньевны «Геологические и минералого-геохимические особенности пород пирометаморфических комплексов Монголии», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Диссертация В.Е. Глушковой посвящена исследованию геологии и минерального состава пород, возникших в результате термического воздействия на осадочные комплексы мелового возраста в результате горения каустобиолитов. Изучены породы останцов и гряд в рельефе Нилгинского и Хамарин-Хурал-Хидского комплексов двух угольных бассейнов Монголии.

Актуальность работы

Исследования пирометаморфических комплексов, сформированных при термическом воздействием в результате горения каустобиолитов, с 80-х годов прошлого века получили широкое распространение. Во многих регионах мира в разрезах осадочных бассейнов, обогащенных органическим веществом, найдены комплексы паралав и клинкеров (Паудер Ривер в США, Израиль, Таджикистан, Казахстан и др.). К таким же породам относятся и техногенные «горельники» в отвалах и терриконах шахт (Донбасс, Челябинская область). В результате научно-исследовательских работ коллектива иркутских ученых, в который органично волилась диссертант, подобные комплексы были впервые обнаружены в Монголии в пределах осадочных пород раннемеловой дзунбаинской свиты.

Известно, что минеральные ассоциации пирометаморфических пород весьма разнообразны и нередко содержат редкие и новые минералы или новые минеральные разновидности уже известных групп (например, пироксен – эссенеит, $\text{CaFe}^{3+}[\text{AlSiO}_6]$, открытый в 1987 году в пиропородах в штате Вайоминг). Это становится возможным в связи с широкими вариациями химического состава подобных пород. Именно уникальность состава и определяет актуальность исследования Хамарин-Хурал-Хидского и Нилгинского комплексов Монголии.

Научная новизна состоит в минералого-геохимической характеристике пород вновь обнаруженных пирометаморфических комплексов в Монголии. Автором выполнено детальное описание «породообразующих, второстепенных, аксессуарных и редких минералов пирогенных пород», их классификация по групповой принадлежности и весьма разнородному химическому составу, установлено отличие от минералов из пород другого генезиса. Сделана попытка определить материнские породы (протолиты) паралав методом сравнения химического состава осадочных слоев, клинкеров и ксенолитов. Составлена схема геологического строения и разрез северо-восточной части комплекса Хамарин-Хурал-Хид.

Теоретическая и практическая значимость

Полученные результаты вносят существенный вклад в изучение фазового состава и геохимии паралав и клинкеров. На хорошем фактическом основании уточнены физико-химические условия формирования пирогенных пород и частичного плавления осадочных образований угленосных бассейнов. Установлены особенности трендов эволюции минеральных рядов пироксенов и мелилита в паралавах. Выполненные физико-химические расчеты в программном комплексе «Селектор» вносят поправки на давление в фазовую диаграмму CaCO_3 и расширяют область ее применения для объяснения условий метаморфизма геологических объектов. Научные результаты, полученные в работе, могут быть рекомендованы к изучению в образовательных учреждениях при рассмотрении разделов метаморфизма и петрографии магматических пород.

Структура диссертации

Диссертация общим объемом 133 страницы состоит из Введения, 5 глав основного текста, Заключения и Приложения, в котором собраны 18 таблиц состава пирогенных пород, стекла и минеральных фаз изучаемых объектов. Включает также 17 таблиц и 37 рисунков в основном тексте, список литературы насчитывает 115 источников. Работа достаточно полно иллюстрирована и оформлена согласно требованиям ВАК.

Во **введении** обоснована актуальность исследования. Приводятся технические средства и методы исследования, фактический материал и личный вклад автора, состоящий в подготовке образцов, описании шлифов и изучении геохимии и минерального состава комплексов. Сформулированы три защищаемых положения, значимость которых, к сожалению, неравнозначна. Так, первое положение о том, что «пирогенные породы сохранились в останцах частично плавленной осадочной толщи (эпицентрах природных угольных пожаров) и находятся в депрессиях, образованных после выгорания линз бурого угля мощностью до 30–40 м и последующих обрушений термически измененных осадочных пород в синклинальных складках» весьма тривиально, хотя для изученных комплексов сформулировано впервые.

В **главе 1** рассмотрена история изучения пирометаморфических комплексов и становления понятия пирогенный метаморфизм. Достаточно полно освещены факторы, приводящие к образованию «горелых» пород. Дается обзор литературных источников, посвященных пирометаморфизму, температурным и физико-химическим условиям его проявления, работы по описанию минерального состава паралав и клинкеров по всему миру. К содержанию главы практически нет замечаний, однако по смыслу название главы больше соответствует понятию «Обзор предыдущих исследований».

Глава 2. «Геологическая характеристика пирометаморфических комплексов» посвящена рассмотрению структуры и последовательности напластований в районе осадочных комплексов Хамарин-Хурал-Хид и Нилгинского. Указывается, что выходы пирогенных пород формируют положительные формы рельефа в виде буроватых останцов или красноватых толщ в Нилгинском участке. В комплексе Хамарин-Хурал-Хид ими сложена гряда протяженностью 3 км и шириной до 200 м. Приводятся ландшафтные фотографии, и дается краткое описание разреза.

Глава 3. «Типы и геохимические особенности пород пирометаморфических комплексов». Приведены характеристики внешнего облика, внутреннего строения и особенностей химического состава паралав и клинкеров изученных районов. На основе TAS диаграммы ($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, мас. %) и мультиэлементных распределениях, нормированных к хондриту, составы паралав сравниваются с вулканическими породами. Заявлено, что их отличительной особенностью является высокое содержание CaO в анализах многих образцов. В Хамарин-Хурал-Хидском районе по минеральному составу выделено четыре разновидности паралав, приводятся их геохимические особенности, а также сообщается о наличии высокожелезистых пирогенных пород. Среди паралав Нилгинского комплекса выделяется три минеральных вида. Общим для тех и других являются мелилит-нефелиновая и плагиоклаз-пироксеновая разновидности.

Особенности химического и минерального состава пиропород достоверно обоснованы современными методами диагностики и не вызывают рекламаций. Однако следует заметить,

что практически нет описания структур и текстур паралав и клинкеров, что является важной частью характеристики вулканогенных или метаморфических пород.

Глава 4. «Минерально-фазовые составы пирогенных пород». В данной главе в соответствии с названием представлена выполненная диссертантом классификация пирогенных пород по минералогическому признаку, которая обобщена в таблице 4.1 и полно отражает совокупность пирометаморфических пород изучаемого района.

В подразделе 4.2 описаны клинкеры, дается характеристика главных и второстепенных минералов, их слагающих (остаточные оплавленные кварц, циркон, монацит, ильменит, рутил, хромит; новообразованные кристобалит, минералы групп кордиерита, муллита). Диагностика, определение химического состава и пересчеты на формульные коэффициенты элементов выполнены корректно на профессиональном уровне. Приводятся также составы вновь выплавленного стекла, утверждается, что большинство анализов стекла комплекса Хамарин-Хурал-Хид попадает в поле риолита, а Нилгинского – дацита и риолита по квалификационной TAS диаграмме, и является плюмазитовым по диаграмме Шенда. Из приведенного распределения точек отчетливо видно, что объекты очень сложны для исследования и контрастно разнообразны по составу даже в пределах одного образца.

В подразделах 4.3–4.4 анализируются особенности химического состава минералов, слагающих плавленные породы изученных комплексов (паралавы, перечисленные в таблице 4.1, где наибольшее количество образцов было отобрано из мелилит-нефелиновой разности). Также описываются минералы из редких железистых пирометаморфических пород с содержанием SiO_2 менее 43 и Fe_2O_3 до 52 мас. %, главные минералы железа которых гематит, магнетит и магнетит-якобсит. Такой состав позволил диссертанту предположить, что их протолитами были «железистые алевропесчанки». Следует отметить, что подобные породы широко представлены в горельниках Кендерлыкской мульды Восточного Казахстана, где их образование связано с трансформацией сидеритовых слоев угленосных толщ.

В других разновидностях паралав описаны вполне типичные для вулканогенных пород минералы: клинопироксен, калишпат, плагиоклаз, фаялит, нефелин и др., но с добавкой нетипичных для лав секанинита, давидсмитита, целестина, монтичеллита, кордиерита, индиалита, рёнит-куратита, фосфидов или широкими вариациями состава минеральных рядов с акцентом на вхождение Са в их состав. Диссертант с успехом справилась с минеральным разнообразием пирометаморфических комплексов, а точечные методы анализа позволили выявить тенденции изменения их состава, выразившиеся в возрастании железистости и уменьшении содержания Al_2O_3 в клинопироксене и мелилите от центра к краевой части фенокристаллов, иными словами, от начала к завершению кристаллизации. Установлено также, что нефелин в Нилгинском комплексе кристаллизовался в интерстициях минералов матрикса, то есть фактически в равновесии с железистыми разностями вышеназванных минералов. Чрезвычайно интересны находки кальцита в виде округлых глобул в матриксе и фенокристах плагиоклаза, Al-клинопироксена и мелилита. Заострим внимание на находках самородного железа и его фосфидов, свидетельствующих о высоком восстановительном потенциале системы в локальных местах на уровне выше IW(железо-вюстит) буфера.

Глава 5. «Сравнительный анализ минеральных ассоциаций пирогенных пород и процессы образования пирометаморфических комплексов». По существу это квинтэссенция и логическое следствие из выполненных минерало-петрографических наблюдений, доведенное до объяснения физико-химических условий генезиса весьма сложных для изучения геологических объектов.

Подраздел 5.1 «Особенности геологического строения пирометаморфических комплексов» по логике структуры работы должен находиться в главе 2. Его нахождение в разделе, где рассматриваются физико-химические параметры и условия образования пирогенных пород, не совсем корректно.

В подразделе 5.2 «Осадочные протолиты пирогенных пород» выполнен сравнительный анализ минерального состава изученных пирогенных комплексов Монголии с аналогичными образованиями по всему миру по литературным данным. Так, по мнению

автора, тридимит-секанинаитовые паралавы по минеральному составу подобны породам Кузнецкого угольного бассейна и Раватского угольного пожара в Таджикистане, а железистые разности паралав сходны с горельниками Кендерлыкской мульды. Выполнено также сравнение распространенности минералов групп клинопироксена и мелилита в пирогенных и вулканических породах различного состава. Приводится диаграмма эволюции состава мелилита.

В подразделе 5.3 диссертант на основании свойств минералов, их фазовых превращений, соотношений окислов Fe в их составе, а также находок самородного железа и фосфидов обосновывает температурные параметры условий плавления осадочных протолитов и вариации фугитивности кислорода в системе «горельников». Раздел называется «условия кристаллизации минералов пирогенных пород», но уже в первом параграфе видим, что речь идет о (цитата) «частичном плавлении пелитовых пород». При этом заявлено, что температура превышала 1050 °C, а для изменений состава клинкера комплекса Хамарин-Хурал-Хид локально достигала более 1470°. Далее на странице 89 снова речь идет о температурах плавления мергелистого известняка, превышавших 1250 °C.

Температурный интервал кристаллизации Fe-Са-оливинов по «экспериментально определенной поверхности сольвуса» в мелилит-нефелиновых паралавах составляет 1050–800 °C. В работе детально рассмотрены также особенности состава оливинов, в частности, содержание минералов Са-оливина и кирштейнита в паралавах изученных комплексов в сравнении их с мелилитовыми паралавами Италии, кимберлитами и серпентинизированными перидотитами. Примечательна находка давидсмитита – кальциевого аналога нефелина в паралавах Хамарин-Хурал-Хида, ранее описанного только в эклогитах Норвегии.

Несомненным успехом данной работы являются находки кальцитовых глобул в матриксе и фенокристаллах порообразующих минералов. Они позволили развить идею существования кальцитового расплава при пирогенной переработке слоев, обогащенных карбонатным материалом, с образованием двух несмешивающихся жидкостей, силикатной и карбонатной, из которых в дальнейшем кристаллизовалась мелилит-нефелиновая паралава. По данным экспериментальных работ кальцитовый расплав в низкобарической области может существовать выше параметров тройной точки: $T = 1242\text{ °C}$, $P = 3.95\text{ МПа}$, где в равновесии находятся СаО, СаСО₃ (88.3 мол. %) и СО₂. Такие условия вполне могли существовать при плавлении карбонатных слоев углистых отложений.

Выполненное физико-химическое моделирование в низкобарической высокотемпературной области кальцитовой системы в программном комплексе «Селектор» с учетом экспериментальных данных позволило впервые построить P – T -диаграмму (рис. 5.7) до значений давления в 22 МПа. Оценка достоверности построения таких диаграмм требует подробного изложения фактических данных, использованных в расчетах. Непременно должны быть приведены термодинамические параметры и фазовый состав мультикомпонентной системы, в рамках которой выполнялось моделирование. В диссертации этого нет. Однако следует отметить, что 24 апреля опубликована работа с участием диссертанта, где эти данные приведены (Turytsin et al., 2024).

В заключении по результатам работы сформулированы основные выводы в соответствии с поставленными целями и задачами

Достоверность результатов исследований обоснована достаточным фактическим материалом и методиками его обработки. Они подтверждены публикациями и серией докладов на научных конференциях.

По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, и одна статья в журнале Materialia, индексируемом в WoS и Scopus. Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы. Хорошая проработка уникального фактического материала, подробное описание паралав и клинкеров в пиропородах Монголии, точная диагностика минералов и их химического состава, позволяют рекомендовать результаты исследований для изучения в геологических ВУЗах. Данные по паралавам и клинкерам могут быть рекомендованы геологам, изучающим драгированные породы океанического дна. Были случаи, когда

поднимали шлаки времен парового флота и принимали их за уникальные разновидности донных базальтов.

По содержанию диссертации, помимо отмеченных выше возникли некоторые вопросы и замечания.

Замечание к **главе 1, страница 12.**

– Утверждается со ссылкой на литературный источник, что «после прекращения фазы активного горения угольных пластов» «горельники» быстро эродируются и разрушаются. Это не совсем верно – на многих горельниках пирогенные породы образуют положительные формы рельефа вследствие большей прочности, чем окружающие их осадочные породы.

Замечания к **подпункту 2.2** «Геологическое строение комплекса Хамарин-Хурал-Хид».

– При описании геологических разрезов и последовательности напластований для наглядности принято приводить литолого-стратиграфический разрез толщи с указанием мощности слоев, что существенно облегчает восприятие материала. В диссертации этого нет.

– Рисунки 2.4 и 5.1 Подписаны как «Схематическая геологическая карта...». Геологическая карта имеет строгие технические требования к построению и оформлению, определяемые стандартами ГОСТа. Прилагательное "Схематическая" их полностью не отменяет. Правильнее будет «Схема геологического строения...»

– Рисунок 5.1 в главе 5 по существу дублирует рисунок 2.4.

– Неверная оценка запасов бурого угля в 19 тонн (1 карьерный самосвал) по категории В (стр. 20, последний абзац) – нереальная цифра для угольного пласта мощностью 8.2 м.

Замечания к **главе 4.**

– Из текста работы не совсем понятно, как определялись содержания примесей по данным результатов спектроскопии. Так, например на стр. 35 написано: *«Интерстиции между новообразованными минералами по данным КР-спектроскопии заполнены кристобалитом, содержащим 1–3 мас. % Al_2O_3 . В матриксе находятся также зёрна муллита микронных размеров с примесью Fe_2O_3 до 3 мас. %»*.

– Не ясно, каким образом из результатов спектроскопии были получены количественные содержания Al_2O_3 в кристобалите и Fe_2O_3 в муллите? Если автор не приводит сами спектры и результаты пересчета в диссертационной работе, то, возможно, есть публикация, на которую необходимо было дать ссылку.

– Аналогичный вопрос по содержаниям Mg в кордиерите (стр 44): *«Ксенолиты клинкера в обр. MN-1370 сложены зёрнами минералов группы кордиерита, которые, по данным КР-спектрометрии представлены как ромбическим секанинитом, так и гексагональным ферроиндиалитом с большими вариациями состава ($Mg\# 0.2–0.5$).»*

– На странице 46 обсуждается содержание воды в образцах: *«Согласно данным КР-спектроскопии стекло водосодержащее и с учётом невязок суммы СЭМ ЭДС анализов может содержать до 3–7 мас. % H_2O »*. Насколько вероятно, что для данных объектов дефицит сумм можно объяснять не только присутствием воды? Каким образом исключалось наличие лёгких элементов, не определяемых с помощью СЭМ ЭДС?

– В таблице 4.1, ряд «Клинкер» 7-й столбец. Кислое стекло – это новообразованная фаза, она не может быть реликтом аргиллита.

– Не определено понятие «железистый алевропесчаник» (стр. 41). Предполагается, что названные породы были протолитами железистых паралав. Но если в состав песчаника входили тугоплавкие магнетит или гематит в качестве железистой фазы, то данные породы не могли быть материнскими для железистых паралав.

– При описании минералов группы шпинели в составе железистых паралав в ассоциации с тридимитом, кристобалитом, плагиоклазом, магнетитом, явно высокотемпературными минералами, кристаллизовавшимися из расплава, упоминаются гетит и ярозит, водосодержащие минералы гидротермального или гипергенного происхождения.

– Рисунок 4.7. По каким критериям проведены границы полей на диаграмме (а)? Если по данным работ других авторов, то нужна ссылка.

– Неверная ссылка на рисунок 4.15 на странице 51. В тексте: «Цельзиан и гиалофан, как правило, образуют кайму на фенокристаллах плагиоклаза», а на рисунке 4.15 – «Продукты распада твердого раствора Fe-Са оливина на Са-фаялит и кирштейнит»

– Таблица 4.9. Нет названий анализов минералов в примечании.

– Рисунок 4.10. По логике и данным таблицы 4.10 составов пироксенов подпись по горизонтальной оси на диаграмме (б) должна быть $Mg/(Mg+Fe)$.

– Рисунок 4.11. Название рисунка «Фрагменты матрикса мелилит-нефелиновых паралав с реликтами ксенолитов мергелистого известняка», а в расшифровке отдельных фотографий – «Фенокристы мелилита ...», «Фенокристы с геленитом ...», «Фрагмент реликта ксенолита ...».

– Таблица 4.15. В примечании нет названия минерала для девятого анализа.

Замечания к главе 5.

– Исходя из личного вклада автора, указанного на стр. 8, диссертант принимал участие в физико-химическом моделировании в программном комплексе «Селектор». Однако в тексте диссертации не приведены ни параметры модели, ни химический, ни фазовый составы системы, которые приводят к выводам по главе 5. В качестве единственного результата в работе приводятся кривые для $CaCO_3$ в координатах P–T (рис. 5.7 на стр. 96), а все описание сводится к пяти строчкам на странице 97: *«Используя программный комплекс «Селектор», были уточнены термодинамические свойства кальцита и кальцитового расплава, учитывающие влияние давления [Tupitsyn et al., 2024]. В результате моделирования была построена фазовая диаграмма кальцита в низкобарической области, хорошо воспроизводящая экспериментальные данные (Рис. 5.7).»*. В связи с этим возникает ряд вопросов:

Что имеется в виду под «термодинамическими свойствами кальцита и кальцитового расплава, учитывающими влияние давления»?

Сколько моделей всего было построено, каковы параметры этих моделей? Что было выбрано в качестве независимых компонентов? Каким был исходный состав твердой, жидкой и газообразной фаз? Что являлось переменной в модели: состав, температура, давление? Как это было реализовано в ПК «Селектор»? Какие величины, полученные в результате моделирования, использовались впоследствии для учета влияния давления на свойства кальцита?

– В разделе 5.2. «Осадочные протолиты пирогенных пород» речь идет больше о пирогенных паралавах. Практически нет характеристики осадочных неизменных пород или слабо затронутых тепловым воздействием.

– Страница 85, первый абзац. Речь идет о составах клинопироксенов, характеристика которых уже была дана на стр. 56–58. То же относится и к описанию мелилита на страницах 58–60.

– Рисунок 5.2. «Эволюция состава мелилита в паралавах». Название рисунка подразумевает построение диаграммы только для состава мелилита из паралав. В то же время, здесь нанесены данные и по другим породам, например, вулканическим, мелилитолитам и др. Нет объяснения, что означают стрелки на рисунке.

– Раздел 5.3 называется «Условия кристаллизации минералов пирогенных пород», однако в первом же абзаце и далее в тексте речь идет о «частичном плавлении пелитовых пород».

– Непонятно, что подразумевается под «слиянием расплавов» (стр. 90).

– Замечания к титулам таблиц в приложении: Таблицы А1, А2, А3. Это не «Геохимическая характеристика ...», а «Химический состав ...»

– Для многих таблиц в примечаниях, как в Приложении, так и в тексте, не указан использованный метод.

Заключение

Диссертационная работа В.Е. Глушковой является целостным и значимым научным исследованием, в котором отражены особенности геологического строения и минерального состава пород Нилгинского и Хамарин-Хурал-Хид пирометаморфических комплексов в

Монголии. Наличие дискуссионных моментов в работе, возникшие вопросы и замечания отражают сложность объекта изучения и свидетельствуют о ценности материала, изложенного диссертантом.

По своей актуальности, объему и новизне работа полностью соответствует критериям, изложенным в пунктах 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09. 2013 №842 (ред. от 01.10.2018 с изм. от 26.05.2020), а ее автор Глушкова Вероника Евгеньевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по научной специальности 1.6.4. – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве официального на заседании Объединенного ученого совета ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН (протокол № 4, от 27.05.2024)

Старший научный сотрудник
лаборатории экспериментальной
минералогии и физики минералов,
доктор химических наук

О.Н. Королева

Старший научный сотрудник
лаборатории минералогии рудогенеза,
кандидат геолого-минералогических наук

Г.А. Третьяков

Подписи Королевой О.Н. и Третьякова Г.А. заверяю.

Помощник директора _____ Т.В. Иксанова

" 27 "



2024 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН)

Адрес: 456317, Российская Федерация, Челябинская область, г. Миасс, тер. Ильменский заповедник
Телефон: +7(3513)298098 доб. 294