

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора геолого-минералогических наук Сокол Эллины Владимировны на диссертацию Стативко Владислава Сергеевича на тему «Минералого-геохимические особенности и природа силикатно-карбонатных пород в обрамлении массивов кусинско-копанского интрузивного комплекса Южного Урала», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Несмотря на то, что контактово-метаморфические и метасоматические образования и связанные с ними месторождения полезных ископаемых одними из первых оказались вовлечены в сферу практических интересов человека, проблема распознавания метаморфических пород и метасоматитов сохраняет свою актуальность. Среди петрологов до сих пор нет единства взглядов на роль и масштабы транзита вещества при контактовом метаморфизме. Противоречивость представлений существует даже в отношении наиболее хорошо изученных высокотемпературных ореолов, генетически связанных с базитовыми интрузиями. С ними теснейшим образом связана и проблема поиска факторов контроля типа, размеров и локализации оруденения в зонах таких контактов. Среди профессиональных минералогов нет таких, кто бы не был знаком с образцами из знаменитых южноуральских копей – Ахматовской, Шишимской, Перовскитовой, Николае-Максимилиановской. И еще меньше тех, кто способен аргументированно ответить на вопрос о процессе или процессах, создавших разнообразные породы, вскрытые этими копиями. Дискуссия о природе этих образований в следующем году отметит свое 150-летие, что само по себе является рекордом. Мало минералогических загадок сохраняет этот статус столь долго.

Актуальность темы данной диссертационной работы я рассматриваю прежде всего в ключе разработки и практической апробации новых методических подходов к распознаванию метаморфических пород и различного рода метасоматитов.

Научная новизна диссертации сомнений не вызывает. Минеральные ассоциации нескольких типов карбонато-силикатных и силикатных пород из шести знаменитых южноуральских минеральных копей, расположенных в окрестностях г. Златоуста, были охарактеризованы с применением единого современного аналитического инструментария и согласованных методологических подходов. В результате диссертантом впервые были определены геохимические и изотопно-геохимические характеристики как различного рода пород, так и отдельных минералов в их составе и установлены комплексы признаков, присущих породам определенного типа/генезиса или минералам из них.

В частности, был систематически охарактеризован редкоэлементный состав высококальциевых гранатов (в том числе богатых Ti), титанита и везувиана из различных групп образований, приуроченных к контактам интрузивов кусинско-копанского комплекса и вскрытых разными копиями в полосе общей протяженностью около 18 км. Получен представительный массив оригинальных аналитических данных: петрографическим методом – изучено около 200 обычных и прозрачно-полированных шлифов; электронно-зондовым микроанализом (SEM-EDS) выполнено около 250 измерений; масс-спектрометрией вторичных ионов (SIMS) – порядка 80 определений; порошковой дифрактометрией (XRD), атомно-абсорбционной спектрометрией (AAS) и Rb-Sr методом – охарактеризовано по 20 проб; с применением U-Pb ID-TIMS метода

получены 9 оценок возраста гранатов; масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) проанализировано 6 проб.

Рассмотрены тенденции распределения редкоземельных элементов между сосуществующими Са-содержащими силикатами из различных кристаллохимических классов. Информация по содержанию и характеру распределения редких и редкоземельных элементов позволила выйти на интерпретацию генезиса соответствующих минералов и пород.

К числу наиболее значимых и, несомненно, новаторских результатов этой работы следует отнести первые данные, полученные по Sr-изотопной системе карбонатов из силикатно-карбонатных пород. Этот подход убедительно продемонстрировал свою эффективность в плане реконструкции природы протолита не только метаморфогенных пород, но и метасоматитов. Последнее принципиально важно, поскольку в процессах метасоматоза исходные геохимические и изотопные (С, О карбонатов и О силикатов) метки обычно «стираются» или, как минимум, существенно искажаются. Это обстоятельство резко затрудняет реконструкцию протолита метасоматитов, а при отсутствии достаточного количества прямых геологических наблюдений, делает ее и просто невозможной.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций.

Диссертантом на защиту вынесено 3 положения. Два первых сформулированы корректно, надежно обоснованы фактическим материалом диссертации и возражений не вызывают. Третье положение, по мнению, оппонента нуждается в корректировке в части, касающейся отнесения разновозрастных генераций граната к определенными геологическими событиями.

Основу работы и положений, выносимых на защиту, составляет богатый фактический материал. Пожалуй, впервые «скарноиды» из южноуральских минеральных копей (именно так в обиходе обычно именовались эти породы, чем подчеркивалась неясность их генезиса) были охарактеризованы столь систематично и надежно. Обоснованность и достоверность научных положений опирается на солидный массив принципиально новой аналитической информации, полученной соискателем с применением методов петрографического анализа, сканирующей электронной микроскопии, микрозондового химического анализа минералов, ICP-MS анализа микроэлементного состава горных пород, количественного рентгенофазового анализа карбонатов. Им также были получены уникальные результаты SIMS анализа индивидуальных минералов (граната, титанита, везувиана), определен возраст гранатов (U-Pb система) методом ID-TIMS и впервые дана Sr-изотопная характеристика карбонатных минералов из силикато-карбонатных метасоматически преобразованных пород южноуральских минеральных копей.

Не вызывает сомнения личный вклад автора, выполнившего как полевые, так и лабораторные исследования, а также обобщившего этот материал и давшего его интерпретацию.

Научные результаты и их ценность.

Диссертационная работа В.С. Стативко представляет собой законченное научное исследование, изложенное на 141 странице текста, куда включены 50 рисунков, 27 таблиц и 8 приложений, а также список литературы из 184 наименований. Работа состоит из введения, пяти глав и заключения.

Во введении обоснованы актуальность работы и новизна исследований, сформулированы цели, задачи, теоретическая и практическая значимость работы и личный вклад диссертанта, кратко охарактеризованы использованные методы исследования, а также сформулированы положения, вынесенные на защиту.

В первой главе дано краткое введение в проблематику силикатно-карбонатных пород с акцентом на образованиях неочевидного генезиса. Отдельно рассмотрена история изучения этой группы пород из района южноуральских минеральных копей (окрестности г. Златоуста) и эволюции представлений о геологической истории их образования, начиная с XIX века (Мушкетов, 1876) до наших дней.

Глава два посвящена описанию методов исследования.

В третьей главе кратко охарактеризована геологическая ситуация в зоне контакта пород кусинско-копанского интрузивного комплекса и рифейских карбонатных толщ саткинской свиты, к которому приурочены специфические силикатно-карбонатные породы (в том числе и метасоматиты), вскрытые несколькими копиями. Странным образом в поле зрения автора не попали рифейские метаморфические толщи кувашской свиты, хотя некоторые копи (в частности, Николае-Максимилиановская и с высокой вероятностью Ахматовская) вскрывают именно их контакты с породами кусинско-копанского интрузивного комплекса. Более того, эти специфические, преимущественно силикатные метасоматиты, а также метаморфика, фигурирующая под собирательным термином «амфиболиты», описаны в диссертации.

В этой же главе даны и краткие очерки геологической ситуации (скорее типов и некоторых взаимоотношений отдельных групп пород), которую можно сегодня наблюдать на местности в каждой из шести изученных автором копей. Здесь задача диссертанта была без преувеличения сложной, поскольку участки контактов сейчас в основном находятся в зонах обрушения старых выработок, под завалами или уничтожены старателями, которые десятилетиями добывали здесь коллекционный материал. Минералогически наиболее яркие и информативные геологические тела нередко выбраны целиком. Этим объясняется фрагментарность наблюдений и последующие сложности с привлечением прямой геологической информации для интерпретации условий образования пород контактовых фаций.

Глава 4, где сосредоточен главный объем фактического материала, является одной из двух основных в этой работе. Особенности микроэлементного состава разнообразных силикатно-карбонатных и преимущественно силикатных метасоматитов рассмотрены в сопоставлении с интрузивными породами кусинско-копанского комплекса и рифейскими карбонатами саткинской свиты. В число образцов сравнения были также включены многочисленные карбонатиты, с целью продемонстрировать отсутствие геохимического подобия между ними и изученными образцами из южноуральских копей.

Автором впервые была дана детальная аттестация макрокомпонентного и микроэлементного составов трех сквозных минералов – граната, титанита и везувиана, присутствующих в районе исследования в нескольких типах контактовых образований. Аналитический материал представителен, получен с использованием нескольких современных прецизионных методов анализа, что среди прочего позволяет произвести взаимопроверку результатов. Надежность массива данных сомнений не вызывает. Именно этот материал обеспечил содержательное наполнение одного из главных пунктов новизны выполненного исследования.

Нарекания к этому блоку работы отчасти являются прямым следствием значительного объема полученных данных, систематизировать которые и четко обозначить признаки сходства и различия разных генетических групп пород, диссертанту пока оказалось сложно. Владислав Сергеевич, надо думать, намеренно избегал излишней генерализации, пытаясь изложить материал непредвзято. Им были отдельно охарактеризованы несколько групп пород и минералы из них (и, более того, – из различных ассоциаций этих пород) для каждой из копей. В итоге картина оказалась резко перегружена деталями индивидуальных характеристик минералов, умноженными на число породных разновидностей и копей... Воспринимать эту информацию даже человеку, знакомому с объектами исследования, очень сложно. Обобщающая схема или таблица сопоставления индикаторных характеристик хотя бы сквозных минералов в главных типах пород существенно повысила бы наглядность этого материала. Кроме того, с высокой вероятностью, стали бы очевидны черты геохимического сходства (родства ?) пород и минералов из разных объектов – а это уже основание для серьезных генетических выводов.

Пятая глава посвящена результатам исследования Sr изотопной системы карбонатов из силикатно-карбонатных пород, определению U-Pb возраста гранатов из них и реконструкции этапов образования специфических метасоматитов, вскрытых в южноуральских минеральных коях.

Исследования Sr изотопной системы карбонатов из метасоматитов, без сомнения, являются новаторскими. Отрадно то, что они сразу же дали однозначно интерпретируемый результат, выявив достоверные различия протолитов древних пород со сложной геологической историей. Диссертант использует эти данные и как один из веских аргументов, опровергающих карбонатитовую гипотезу происхождения рассматриваемых породных комплексов. Действительно, свидетельства Sr/Sr изотопии здесь весьма наглядны. (Хотя по мнению оппонента эта полемика лишена глубокого содержания) Работа В.С. Стативко показала, что наряду с иными геохимическими маркерами этот подход может быть эффективен при распознавании эндо- и экзокринов в неявных геологических ситуациях, подобных тем, которые иллюстрируют южноуральские минеральные копи.

Блок, посвященный U-Pb геохронологическому исследованию гранатов, вызывает много вопросов, главным образом в части интерпретации полученных результатов. Остановлюсь лишь на одном аспекте. В тексте работы неоднократно отмечается геохимическое сходство или, как минимум, наличие геохимических меток, обусловленных влиянием интрузивов ксинско-копанского комплекса на породы рамы и метасоматиты. Поэтому удивительно было обнаружить в конце диссертации вывод о том, что гранатсодержащие породы возникли вне связи с интрузивом, к контакту с которым они приурочены, с отрывом в 800 тыс. или 1 млрд. лет от момента его внедрения. Получается, что 2 датировки, полученные по минералу, который сам автор называет нетрадиционным геохронометром, перевесили (если не перечеркнули) весь массив геохимических свидетельств? Подновление «уязвимых» зон в сложных геологических комплексах, безусловно, возможно. И часть гранатсодержащих пород действительно могла быть связана с более поздними минералообразующими процессами, тепловой источник которых в копи размером в несколько метров установить невозможно. (Тем более, что близкая датировка ≈ 500 млн. лет недавно была получена и по перовскитам из пород Перовскитовой и Зеленцовской копей (Степанов и др., 2020)). Но вряд ли

обосновано рассматривать формирование локальной прожилковой минерализации в связи с отсроченным процессом регионального метаморфизма. Даже если мы согласимся рассматривать это предположение, придется признать, что, будучи региональным, такой метаморфизм обязан был затронуть крупные площади, чего не наблюдается. Связь единичных поздних прожилков с «... трещинами, возникшими в результате складчато-надвиговых деформаций в позднем палеозое» также воспринять трудно. Прежде всего, ввиду несопоставимых масштабов явлений. Нельзя исключить, что соискатель действительно обнаружил следы некоего позднего геологического события. Это стоило отметить, но воздержаться от столь прямолинейных и слабо обоснованных интерпретаций.

В Заключении сформулированы в сжатой форме основные результаты исследований по теме диссертации.

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 9 печатных работах в том числе в 3 статьях в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

Теоретическая и практическая значимость работы

Проведенное исследование является вкладом в решение проблемы генезиса разнообразных силикатно-карбонатных пород, расположенных в зоне контакта массивов кусинско-копанского интрузивного комплекса и рифейских карбонатных осадочных толщ на Южном Урале.

Результаты исследования минералов из силикатно-карбонатных пород были использованы в отчетных материалах НИР ИГГД РАН «Этапы формирования, палеогеография, литогеохимия и биостратиграфия осадочных последовательностей докембрия и фанерозоя Северной Евразии» (№ FMUW-2021-0003), что зафиксировано в акте внедрения от 22 июля 2025 г. (Приложение 3).

Рекомендации по использованию результатов работы

Методические разработки, результаты и научные выводы диссертации могут быть использованы при типизации силикатно-карбонатных пород, силикатных мраморов, скарнов и карбонатитов, а также в учебных курсах «Петрография», «Общая геохимия» и «Изотопная геохимия».

Замечания и вопросы по работе

Все замечания и исправления редакционного характера даны в аннотированном файле диссертации, они не касаются содержательной части работы, и здесь не приводятся, чтобы не загромождать отзыв.

Частные замечания к минералогическим блокам работы следующие. Автор регулярно допускает ошибки в применении современной классификации и номенклатуры минералов (оливинов, стр. 9; минералов супергруппы апатита, стр. 23; хлоритов, стр. 25). Не всегда корректно использует понятия твердых растворов и изоморфных серий (стр. 27; 30; 31; 34). Не конкретизирует присутствие в ассоциациях кальцита, доломита или обоих минералов. Часто использует обтекаемое слово «карбонаты» (стр. 30, 36, 38, 41, 52, 83 и далее по всему тексту работы) либо «карбонаты ряда доломит-кальцит» (стр. 45), однако сведений о присутствии Mg-кальцитов или же Ca-избыточных доломитов в работе нет. Точная диагностика карбонатов в данной работе имеет принципиальное значение, как с

позиций реконструкции температурного режима изменения пород протолита, так и с точки зрения интерпретации особенностей Sr изотопной системы. В состав «карбонатной фракции» почему-то попали хлорит и брусит (стр. 84, табл. 5.1.). Очень неудобным оказалось расположение информации о составах минералов в приложениях, а BSE фото с отмеченными точками анализов по тексту работы. Многие анализы нельзя рассматривать как количественные, но комментариев по этому поводу нет, фазы не названы (указаны лишь номера точек анализов). Единицы измерения отсутствуют (Приложение В).

Есть недопонимание особенностей составов минералов и кристаллохимической допустимости изоморфных замещений. Приведу только три примера: (I) апатит квалифицирован как фторапатит, но содержание фтора в нем не определялось (либо содержание фтора оказалось ниже предела его обнаружения); единственной значимой примесью в брусите ($Mg(OH)_2$) назван хром, причем в количестве около 1 мас. % Cr_2O_3 (стр. 38). С учетом того, что сам брусит в породах микрозернистый, нет сомнения, что это «изоморфная примесь» представляет собой затертую в бруситовый агрегат шлифовальную пасту. Изоморфной примесью в магнетите признан SiO_2 в количестве более 5 мас. % (стр. 44). В принципе для шпинелидов в самом широком смысле этого термина такой изоморфизм допустим (например, алюмосиликоферриты). Однако, условия для образования таких соединений нужны принципиально иные – сверхвысокие температуры и низкое давление.

Некорректно отнесение везувиана к разряду метаморфических минералов (стр. 71-72), тем более, что сам автор пишет о наличии индукционных поверхностей совместного роста между ним и гигантскими индивидами клинохлора, а породы далее именует везувиановыми скарнами (с чем вполне можно согласиться). Анализы этого минерала приведены без отбраковки некачественных данных (табл. 4.3), что выявляется при кристаллохимических пересчетах формул (стр. 74).

Нельзя признать удачной представление спектров распределения REE в хондритовой нормировке. В приложении к анализируемой группе пород этот подход слишком загроубляет картину (стр. 51). Понятия и определения, использованные диссертантом при описании этих спектров, часто не отвечают общепринятым и нуждается в корректировке (например, стр. 77-79).

Из числа генетических вопросов, хотелось бы видеть четкие формулировки геохимических и минералогических критериев распознавания эндо- и экзоскарнов, а также иных метасоматитов (стр. 56, 60, 69, 96).

Странным кажется типизация пород по структурным признакам (равномерно и неравномернозернистые) при рассмотрении особенностей их Sr изотопных систем (стр. 84-86). Тем более, что из авторской табл. 5.1. следует, что в карбонатной составляющей большинства равномернозернистых пород преобладает доломит (до 95%), тогда как неравномернозернистые породы являются кальцитовыми (иногда с примесью доломита). Автор целиком исключает влияние протолита?

Несогласие оппонента с подходами к интерпретации геологических событий было сформулировано выше.

Несмотря на высказанные замечания, Стативко В.С. выполнена большая самостоятельная исследовательская работа, ее результаты суммированы и обсуждены. Работа обладает несомненной научной новизной. Разработанный соискателем подход наверняка будет востребован при расшифровке истории развития сложных контактово-

метаморфических породных комплексов. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Заключение по диссертации

Диссертация «Минералого-геохимические особенности и природа силикатно-карбонатных пород в обрамлении массивов кусинско-копанского интрузивного комплекса Южного Урала», представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Стативко Владислав Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент

главный научный сотрудник лаборатории метаморфизма и метасоматоза

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института геологии и минералогии имени В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник



Сокол Эллины Владимировны

17.11.2025 г.

Сведения об официальном оппоненте

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)

Почтовый адрес: 630090, г. Новосибирск,

пр-т ак. Коптюга, 3

официальный сайт в сети интернет [www: www.igm.nsc.ru](http://www.igm.nsc.ru)

электронная почта: sokol@igm.nsc.ru

Тел.: +7 (383) 333-26-00, +7 (383) 333-35-05

Факс: +7 (383) 333-27-92