

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института геологии рудных  
месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН,  
член-корр. РАН Петров В.А.



« \_\_\_\_\_ » *август* 2022 г.

### ОТЗЫВ

Ведущей организации Института геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН на диссертацию

Козлова Павла Сергеевича

**"ГЕОЛОГИЯ И ТЕКТОНО-МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ  
ДОКЕМБРИЙСКИХ КОМПЛЕКСОВ ЗАПАДНОЙ ОКРАИНЫ  
СИБИРСКОГО КРАТОНА (СЕВЕРО-ЕНИСЕСКИЙ КРЯЖ)",**

представленную на соискание учёной степени доктора геолого-  
минералогических наук по специальности 25.00.01 – общая и  
региональная геология.

Актуальность работы Павла Сергеевича Козлова определяется глобальной и региональной значимостью Северо-Енисейского кряжа как орогена в эволюции западной окраины Сибирского кратона. Недоисследованность тектоно-метаморфических комплексов Северо-

Енисейского кряжа привела к расхождению взглядов на геологическую историю развития этого региона в мезо- и неопротерозое. Особенно это касается событий Гренвильской и Байкальской орогении в период 1.2 - 0.6 млрд лет.

В Северо-Енисейском кряже, расположенном на севере Центрально-Азиатского подвижного пояса, геологические события этого возраста, в отличие от южного складчатого обрамления Сибирского кратона, достоверно известны не были; геологические структуры и слагающие их метаморфические комплексы были изучены не достаточно. Недостаток данных по возрастам пород и условиям метаморфизма инициировал создание нескольких взаимно противоречивых тектонических моделей развития этого района.

Цель и задачи диссертационного исследования состояли в том, чтобы на основе применения комплекса геологических, петрологических и геохронологических методов и численного моделирования воссоздать историю развития Северо-Енисейского кряжа и приблизиться к пониманию эволюции Сибирского кратона в мезо-неопротерозое.

В основу диссертации положен обширный и оригинальный фактический полевой материал, собранный лично автором в ходе многолетних – с 1979 по 2020гг. геолого-съёмочных работ по геологическому доизучению территорий и составлению геологических карт масштаба 1:50 000 (1494 кв. км.), специализированных научно-исследовательских работ и глубинного геологического картирования различных площадей, покрывающих значительную часть Северо-Енисейского кряжа. Кроме того, обширный материал по петрологии метаморфических комплексов Северо-Енисейского кряжа был получен автором благодаря тесному сотрудничеству с сотрудниками лаборатории метаморфизма и метасоматизма ИГМ СО РАН – академиком В.В. Ревердатто и д.г.-м.н. И.И. Лихановым.



В ходе камеральных работ Павлом Сергеевичем изучена весьма представительная коллекция пород Северо-Енисейского кряжа. Автором изучено более 1200 прозрачных и полированных шлифов, проведены в большом объёме определения химического состава пород на петрогенные элементы и редкие металлы методами XRF (Carl Zeiss в ИГМ СО РАН) и ICP MS (Element Finnigan в ИГМ СО РАН), проведены изотопно-геохронологические U-Th-Pb исследования монацитов локальными методами (SHIME в ИГГ УрО РАН), цирконов (SRIMP II в ЦИИ ВСЕГЕИ) и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  исследования слюд и амфиболов (Micromass Noblegas 540 в ИГМ СО РАН). Анализ составов минералов для последующих петрографических построений был выполнен на микроанализаторе Cameca -100 в ИГМ СО РАН. Большинство геологических, опробовательских и петрографических работ, анализ, обработка и обобщение материалов были проведены непосредственно автором диссертации или в соавторстве с коллегами из ИГГ УрО и ИГМ СО РАН.

Научная новизна диссертации определяется результатами детальных петрографических, петролого-геохимических и прецизионных изотопно-геохронологических исследований тектоно-метаморфических комплексов Северо-Енисейского кряжа. Наиболее значимыми новыми достижениями, отраженными в работе, можно считать то, что: 1) впервые в докембрии Северо-Енисейского кряжа комплексно обоснованы Гренвильский и Байкальский периоды орогенеза; 2) получены первые петрологические свидетельства существования зоны палеосубдукции в западной краевой части Северо-Енисейского кряжа и построена её геодинамическая модель, 3) на основе P-T-t реконструкций нескольких опорных участков показана полиэтапность метаморфизма докембрийских комплексов Северо-Енисейского кряжа, которая определяется последовательным наложением нескольких геодинамических обстановок – континентального растяжения, коллизии и пластического дислокационного метаморфизма, 4) впервые в пределах Северо-Енисейского кряжа выделены две крупные региональные

сдвиговые зоны – Приенисейская и Ишимбинско-Татарская, обладающие характерной эволюцией P-T условий метаморфизма и характерными особенностями метаморфических пород, 5) на основе анализа и определений изотопного возраста структурно-вещественных комплексов в геологической истории Северо-Енисейского кряжа обосновано 3 импульса рифтогенеза, связанные с гренвилльской, раннебайкальской и позднебайкальской тектоническими эпохами, 6) предложена новая рифтогенно-коллизийная модель развития Северо-Енисейского кряжа как покровно-складчатой структуры, сформировавшейся *in situ* на континентальной коре западной окраины Сибирского кратона и прошедшей шесть этапов тектоно-метаморфических преобразований.

Практическая значимость работы определяется прежде всего тем, что в Северо-Енисейском кряже на основе изучения типов и зональности метаморфизма высоко глинозёмистых метаморфических толщ установлены перспективные зоны, обогащенные минералами группы силлиманита – андалузитом, кианитом и силлиманитом, а также хлоритоидом. Показано, что эти минералы в комплексе с другим глинозёмистым сырьём региона в перспективе могут быть вовлечены в производство глинозема, а также алюминия и силумина на Богучанском алюминиевом заводе в Приангарье.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения и восьми глав и заключения; содержит 62 рисунка и 5 внутри текстовых таблиц. Общий объём работы составляет 345 страниц. Кроме того, в 5 таблицах приложений на 32 страницах приведены результаты анализов пород и минералов, а также результаты изотопного датирования и результаты лабораторного испытания высокоглинозёмистого сырья. Список литературы включает 363 наименования, из них 7 – фондовые материалы.

Список работ, в которых автор изложил результаты своих исследований – более чем внушительный и существенно превышает необходимое количество публикаций, установленных ВАК. По теме диссертации Козлов Павел Сергеевич опубликовал более 45 статей в.



рецензируемых журналах ВАК, а так же - 25 публикаций в материалах совещаний и конференций. Основные положения диссертации и результаты исследований докладывались автором на 27 Российских и международных конференциях в ведущих научных центрах России и Европы - в Москве (2008, 2009, 2013, 2014, 2016, 2017, 2021), Новосибирске (2008, 2020), С.-Петербурге (2011, 2012, 2015, 2017, 2019, 2021), Екатеринбурге (2006, 2010, 2011, 2018), Франкфурте-на Майне (2012), Иркутске (2010, 2011, 2014, 2020), Томске (2016, 2017), Петрозаводске (2017). Кроме того, результаты исследований Павла Сергеевича нашли отражение в 13-ти отчетах по грантам РФФИ, РНФ, Президента РФ, Президиума СО РАН и трех производственных геолого-съёмочных отчётах.

Первая глава диссертации содержит развёрнутое описание истории исследования Северо-Енисейского кряжа и краткий очерк его геологического строения. В этой главе показано, что Енисейский кряж как самостоятельная структура был открыт сравнительно недавно – в 20-х годах прошлого века и поэтому изучен ещё недостаточно. В главе охарактеризованы основные тектонические структуры Енисейского кряжа, а также магматические комплексы (Гаревский, Ерудинский, Тейский и Каламинский); приведен возраст этих комплексов по изотопным данным, полученным ранее другими авторами.

Вторая глава – методы исследования – в начале содержит сводку проведенных ранее геолого-картировочных работ и работ по описанию метаморфических комплексов. В этой части глава 2 во многом продолжает и дополняет главу 1. Приводится разработанная диссертантом Легенда и «Схема районирования тектоно-метаморфических комплексов Енисейского кряжа», где отражены геолого-петрологические типы метаморфизма всего региона, обоснованные  $P$ - $T$ - $t$ - $d$  параметрами. Причём в отличие от предшественников в работе впервые анализируется параметр “ $d$ ”, отражающий комплексы разновозрастных бластомилонитов, тектонитов. Во второй части главы 2 приводится описание применяемых петрологических и

изотопно-геохимических методов. Весьма важно, что в этой главе подробно охарактеризован успешно применяемый автором петрологический подход к типизации метаморфических комплексов по градиенту -  $dT/dH$ . Кроме того, в главе указан метод получения первичных данных по составам минералов, а также применяемые минералогические термометры и барометры. Однако методы получения геохимических данных охарактеризованы не достаточно подробно; метод математического моделирования только упомянут, а суть его не раскрыта.

Глава 3 – «Тектонические модели докембрия Северо-Енисейского кряжа» – содержит краткое описание трех известных ныне тектонических моделей развития этого региона. Показано, что эти три модели имеют один недостаток – не учитывают события Гренвильской и Байкальской орогении в Северо-Енисейском кряже. Поэтому эти модели не отражают полностью всего многообразия наблюдаемых геологических и возрастных соотношений метаморфических и магматических комплексов. Предложенная автором четвертая – рифтогенно-коллизийная модель вобрала в себя все положительные и непротиворечивые тезисы трех ранее разработанных моделей и дополнила их на основе комплексирования методов новыми данными по геологии, тектонике и метаморфизму и, что важно, геохронологии Гренвильского и Байкальского орогенных этапов.

Главы 4 и 5 – основные главы диссертации, содержащие описание новых геологических и петрографических наблюдений. Глава 4 – петрологические индикаторы и природа региональных сдвиговых зон – построена преимущественно на результатах новых геологических наблюдений. В этой главе детально охарактеризованы Приенисейская и Ишимбинско-Татарская региональные сдвиговые зоны. Строение этих доминирующих в регионе региональных сдвиговых зон подробно детализировано: в их строении выделены сектора и участки, отличающиеся деталями геологического строения, рифтогенного магматизма и особенностями проявления полиметаморфизма. В этой главе весьма



подробно рассмотрены геологические и петрографические особенности регионально распространённых бластомилонитовых комплексов – индикаторов деформационного метаморфизма. В главе 4 приводится обоснование, преимущественно, второго защищаемого положения.

Глава 5 – тектоно-метаморфические комплексы палеоконтинентального и палеоокеанического секторов: петрологические и геодинамические индикаторы становления Северо-Енисейского кряжа как орогена в интервале 1400-600 млн. лет – построена, преимущественно, на петрографическом, петролого-геохимическом и геохронологическом анализе метаморфических комплексов в различных участках Северо-Енисейского кряжа. В этой главе приводятся карты изоград метаморфизма зонально построенных опорных участков. На этих картах и в сопровождающем их геологическом описании весьма показательно отражено наложение умереннобарического кианит-силиманитового метаморфизма на низкобарический – андалузит-силиманитовый. Кроме того, в главе 5 мы находим петрографические доказательства метаморфизма высоких давлений – реликты глаукофановых парагенезисов, указывающие на наличие зон палеосубдукции в палеоокеаническом секторе Северо-Енисейского кряжа. Таким образом, в главе 5 документально подтверждена многоэтапность метаморфизма Северо-Енисейского кряжа; каждый этап геохронологически охарактеризован и привязан к определенному геодинамическому режиму развития района.

Глава 6 – P-T-t тренды тектоно-метаморфических комплексов Северо-Енисейского кряжа – по смыслу является логическим продолжением главы 5, где сосредоточен петрологический анализ P-T-t трендов метаморфизма, охарактеризованных выше пород Тейского и Гаревского комплексов. В этой главе автор отмечает одну важную особенность дислокационного метаморфизма в региональных зонах смятия – различные участки Северо-Енисейского кряжа развивались по близким P-T траекториям на проградной стадии метаморфизма и по различным P-T траекториям – на ретроградной

стадии. Это различие автор справедливо связывает с разными режимами постпиковой эволюции комплексов. Кроме того, в главе 6 приводится анализ неустойчивости тройного парагенезиса силикатов глинозёма – кианита-силлиманита-андалузита, что имеет важное значение для метаморфической петрологии.

Все P-T-тренды метаморфизма, приведенные в главах 5 и 6 обоснованы и получили геологическую интерпретацию. Главы 5 и 6 содержат обоснование, преимущественно, третьего защищаемого положения.

Глава 7 – тектонические этапы и тектоно-метаморфическая эволюция докембрийских комплексов Северо-Енисейского кряжа – содержит описание шести этапов развития Северо-Енисейского кряжа (в рамках рифтогенно-коллизии модели автора) и служит обоснованием первого и четвертого защищаемых положений. Глава представляет собой обобщение и тектоническую интерпретацию изложенных выше геологических, петрологических и изотопно-геохронологических результатов, полученных автором на опорных участках Северо-Енисейского кряжа. Полиэтапность развития этого региона в мезо- и неопротерозое отражена информативными схемами и таблицами и обоснована геодинамической моделью Приенисейской палеозоны субдукции.

Глава 8 – оценка перспектив вовлечения метаморфогенных высокоглинозёмистых пород региона с точки зрения производства глинозёма, силумина и алюминия на Богучанском алюминиевом заводе в Нижнем Приангарье – является иллюстрацией того, какое практическое применение могут иметь петрологическое и геологическое изучение тектоно-метаморфических комплексов. В этой главе отчетливо показано, что зоны развития низкобарического андалузит-силлиманитового метаморфизма являются перспективными источниками глиноземистого сырья по причине того, что содержат в большом количестве андалузит и силлиманит. А наложенные на них зоны дислокационного кианит-силлиманитового метаморфизма – менее перспективны по причине того, что значительная



часть алюминия расходуется на формирование Ca-Fe-Mg-Al-силикатов (таких как гранат), не пригодных для промышленного использования и получения глинозёма.

Все восемь глав, введение и заключение написаны ясно, структурировано, хорошим и понятным языком, оформление работы отвечает соответствующим требованиям. Встречающиеся в тексте в большом количестве сокращения, аббревиатуры и перечень иллюстраций приведены отдельными списками в конце текста.

В целом можно сказать, что приведенные во введении защищаемые положения и отражённые в заключении результаты исследования полностью обоснованы фактическим материалом, изложенным в восьми главах.

В диссертации Павла Сергеевича Козлова можно отметить немало положительных аспектов, связанных как с вопросами геологического строения Северо-Енисейского кряжа, так и с петрологией метаморфических пород. Ниже отметим наиболее значимые из них:

1) Автор получил и представил в диссертации огромный новый фактический материал, основанный на результатах среднемасштабного (1:50 000) геологического доизучения площадей (8 листов, 1494 кв. км), специализированных научно-исследовательских работ, работах по глубинному геологическому картированию (1030 кв. км). Результаты работ представлены в более 45 статьях в изданиях ВАК и в 3 фондовых геологических отчётах, 13 отчетах по проектам РФФИ и РНФ. Из этого следует, что современные представления о геологическом строении Северо-Енисейского кряжа формируются в основном на работах диссертанта.

2) В диссертации отлично охарактеризован дислокационный метаморфизм, протекавший в крупных региональных зонах смятия. Автором показана важность этих структур для расшифровки истории геологического развития района и выделения площадей, перспективных на обнаружение высокоглинозёмистых сланцев.

Признаки такого типа метаморфизма показаны на стр. 33-36. Положение и строение этих зон во многом прояснилось благодаря геолого-съёмочным работам автора. В главе 4 детально рассмотрены и проиллюстрированы геологические и петрографические признаки дислокационного метаморфизма; в главе 5 – эволюция пород и метаморфических минеральных ассоциаций. Описание зон деформаций сопровождается многочисленными фотографиями обнажений и штуфов; необходимые датировки процессов метаморфизма выполнены непосредственно по метаморфическим минералам и приведены в приложении 1.1.

На стр. 150-152 показана интересная особенность дислокационного метаморфизма – как метаморфизма локального, отличающегося от регионального метаморфизма, покрывающего большие площади. Она заключается в хорошей сохранности реликтовых минералов (отмечается сохранность реликтового хлоритоида в кианит-силлиманит-ставролитовой субфации). Это указывает на то, что метаморфические реакции в локальных зонах деформаций не проходят до конца и не приводят к полному переуравновешиванию минерального парагенезиса, что характерно для относительно быстро протекающих интенсивных процессов. О высокой интенсивности и высокой скорости метаморфизма в зонах деформаций также указывают и наблюдения автора и его коллег над неустойчивостью тройного парагенезиса силикатов глинозема кианит-силлиманит-андалузит (стр. 194).

Весьма показательны, что при характеристике дислокационного метаморфизма на многих опорных участках автор и его коллеги применили метод построения изоград – линий одинаковой степени метаморфизма. Этот метод очень информативный, но при этом – и очень трудоёмкий, требующий анализа большого количества петрографического материала. В связи с высокой трудоёмкостью метод изоград редко встречается в современной литературе. Несмотря на высокую трудоёмкость, некоторые опорные



участки, например Тейский метаморфический комплекс (рис. 36 на стр. 138) покрыты сеткой изоград на площади около 15x30 км.

Результативность метода изоград, применительно к метаморфическим комплексам Северо-Енисейского кряжа показана на примере Тейского (стр. 137-145, рис. 36), Чапского (стр. 146-148, рис. 40), Гаревского (стр. 148-157, рис. 41) участков. Кроме того, автором и его коллегами была составлена схема изоград уникального контактового метаморфизма с хлоритоидом во внешней зоне вокруг Аяхтинского гранитоидного массива (рис. 49 и 50 на стр. 168, 171).

В диссертации автор справедливо акцентирует внимание на некоторых важных наблюдениях, касающиеся характерных особенностей дислокационного метаморфизма, его геодинамической обусловленности. Например – сочетание в одной региональной структуре блоков, сформировавшихся на разных глубинах (при разном давлении). На стр. 166 показано, что это связано с тем, что на постколлизийном этапе блоки были выведены на разные абсолютные отметки. Кроме того, различие трендов регрессивного этапа метаморфизма в разных блоках может быть связано с разными траекториями выведения этих блоков на более высокие уровни Земной Коры (стр. 193).

3) При исследовании докембрийских комплексов Северо-Енисейского кряжа Павел Сергеевич Козлов успешно применил относительно новый и перспективный метод типизации и картирования полиметаморфических комплексов на основе метаморфического градиента  $dT/dH$ , разработанного В.В. Ревердатто, В.С. Шеплевым и И.И. Лихановым и (стр. 33, 158, рис. 45). В диссертации отчетливо показано, что дислокационный метаморфизм отличается пониженным градиентом, составляющим  $2,5-12^{\circ}\text{C}/\text{км}$ , в отличие от регионального и контактового метаморфизма, для которых характерен более высокий градиент –  $20-30$  и  $100^{\circ}\text{C}/\text{км}$ , соответственно. На основе такого градиентного подхода и

геокартирования автору удалось проследить распространение различных типов метаморфизма в пределах Северо-Енисейского кряжа.

4) Выявлена неоднородность по давлению и температуре комплексов пород, подвергшихся деформациям различной интенсивности (стр. 184-186). Это позволило подойти к оценке стрессовой “добавки” к общему литостатическому давлению при наложении дислокационного метаморфизма. Было установлено превышение давления в интенсивно деформированных породах на 2-3, а иногда – на 5 кбар, что составляет 10-20 % от общего давления. Превышение температуры на величину около 150 °С в зонах деформаций, совершенно справедливо связывается с возможностью разогрева пород в результате пластического течения.

Вышеизложенные пункты 2, 3, 4, подкрепленные большим фактическим материалом, имеют важное методическое значение. Материалы диссертации, отражающие геологию и метаморфизм пород в зонах деформаций, опубликован в ряде работ диссертанта и соавторов и частично вошёл в монографию «Природа и модели метаморфизма» (Ревердатто и др., 2017) и обобщены в научных работах И.И. Лиханова (2020, 2021). В целом они могут быть использованы при чтении курса лекций для студентов по предмету «Петрология», рекомендованы для создания специального учебника или серии методических пособий для студентов ВУЗов, углубленно изучающих геологию и метаморфизм древних кристаллических комплексов. Тем более, что в настоящее время ощущается явная нехватка отечественной литературы подобного учебно-методического направления.

5) Автором критически проанализированы все известные тектонические модели строения Северо-Енисейского кряжа; показаны их сильные и слабые стороны, одна из которых – отсутствие комплексного подхода в исследованиях. На основе нового материала Павел Сергеевич представил рифтогенно-коллизийную модель, учитывающую как фактический материал, накопленный предыдущими исследователями, так и



собственные оригинальные данные. В модели показано, что Северо-Енисейский кряж, как ороген, развивался как активная окраина Сибирского кратона; геохронологически и петрологически обоснованы и детально охарактеризованы 6 этапов его тектонического развития. Весьма важно, что в модели нашли отражение новые данные по Гренвильским (1180-850 млн. лет) и Байкальским раннеорогенным событиям (850-800 млн. лет) (стр. 47), протекавшим на территории Северо-Енисейского кряжа, которые ранее не отмечались исследователями. Наиболее детально, как пример Гренвильской и Раннебайкальской орогении, автором рассмотрен Гаревский метаморфический комплекс (стр. 114-136), на котором проведена детальная реконструкция P-T-t истории этого блока и впервые охарактеризованы 4 этапа метаморфизма. Схема, составленная автором и приведённая на рис. 59 (стр. 220) очень наглядно иллюстрирует историю тектонического развития докембрийских комплексов Северо-Енисейского кряжа, соотношение импульсов магматизма, метаморфизма и складчатости.

Однако, как и любая большая работа, диссертация Павла Сергеевича Козлова вызывает ряд вопросов и не лишена замечаний.

Общие замечания ко всей работе.

1) Огромный фактический картировочный материал, который автор использовал в написании текста диссертации мы практически не видим в иллюстрациях. Автор ограничился только общей схемой Енисейского кряжа и схемами опорных участков. Следовало бы привести реальные геологические карты хотя бы двух, наиболее интересных участков (например Тейского и Гаревского). Получилось так, что большой и хороший материал остался в тени и не вынесен на обсуждение.

2) Енисейский кряж состоит не только из Северо-Енисейского кряжа. В него входит также крупный южный блок – Южно-Енисейский кряж, отличающийся сложным геологическим строением и более высоким уровнем метаморфизма. В диссертации этот блок только упомянут, а его история и геологическое строение никак не освещено. Хотелось бы, хотя бы в общих

чертах, увидеть параллели геологического развития Северо-Енисейского и Южно-Енисейского кряжа.

3) Не очень удачная, на наш взгляд, формулировка и компановка защищаемых положений. Часть третьего защищаемого положения, касающаяся этапов развития и положения Енисейского кряжа на окраине Сибирского кратона, может войти как часть в четвертое защищаемое положение. Другая часть третьего защищаемого положения, ссылающаяся на P-T-t-d параметры, могла бы быть серьёзно усилена конкретными данными по метаморфизму. Тем более – что они в изобилии присутствуют в тексте, обсуждены и геологически интерпретированы. Метаморфического защищаемого положения, в котором бы были разобраны особенности и признаки деформационного метаморфизма в диссертации явно не хватает. Такой аспект защищаемого положения мог бы частично усилить проблемно-ориентированную сторону диссертации, что существенно повысило бы её научную значимость.

4) В тексте во многих местах даётся описание ключевых минеральных псевдоморфоз (например, псевдоморфозы кианита и силиманита по андалузиту) или двух морфологических типов ставролита, и др. (стр. 58, 59, 139, 151-153). Но практически нигде описанные взаимоотношения не подкреплены фотографиями или зарисовками шлифов. Такое чисто текстовое описание шлифов несёт существенно меньше информации, чем фотография; наличие фотографий минеральных взаимоотношений могло бы существенно сократить текстовую часть работы.

Конкретные наиболее важные замечания к разным частям текста диссертации.

Стр. 7. Появление термина «P-T-t-d», вместо традиционного «P-T» требует дополнительных пояснений в месте своего первого упоминания (это приведено в автореферате, гл.2, стр. 13, а в самой диссертации - упущено).



- 1) Стр. 25. Описание тектонических структур Северо-Енисейского кряжа по данным исследований предшественников, должно сопровождаться соответствующей схемой, иначе информация не читаема.
- 2) Стр. 22, рис. 1. Приведена схема основных структур Енисейского кряжа и Касско-Туруханского микроконтинента. На этой схеме Касско-Туруханский микроконтинент занимает большую часть рисунка, несмотря на то, что в диссертации он использован в основном в главе 7. А Енисейский кряж на этом рисунке можно было бы показать и более подробно.
- 3) Стр. 42-49. Приводится описание основных тектонических моделей развития Северо-Енисейского кряжа. Но ни одна модель не подкреплена схемой. В результате суть моделей и их различие между собой воспринимаются плохо.
- 4) Стр. 55. В ссылке на рис. 3 указано, что там должно быть отображено два этапа метаморфизма пород кординской свиты. Но на рис. 3 такого нет; тексту соответствует рис. 4.
- 5) Стр. 71. В ссылке на рис. 10 г указано, что там должно быть отражено наложение поздних минеральных ассоциаций на ранние. Но такого рисунка в тексте нет, вероятно это опечатка.
- 6) Стр. 88. Указано, что в метадацитах ярко выражена Eu аномалия. Но рисунок со спектрами REE, подтверждающими эту особенность не приведен.
- 7) Стр. 89. Датирование цирконов метадацитов и базальтов не сопровождается фотографиями с формой зерен цирконов и положением локальных точек анализа.
- 8) Стр. 137-138, рис. 36. Описание метаморфической зональности Тейского комплекса соответствует классической низкобарической (Бьюкенской) схеме. Однако в схеме приводимой автором присутствуют дополнительные изограды жедрита и куммингтонита, которые в метаморфизме Бьюкенского типа не рассматриваются. Поэтому необходимо уточнить – чем обусловлено появление этих минералов в метапелитах, для

которых они не типичны (возможно – высоко магнезиальным и/или низкокремниевым валовым составом пород ???).

9) Стр. 138, этот же рис. 36. Последовательность изоград Бьюкенского андалузит-силлиманитового метаморфизма осложнена изоградами кианита и силлиманита, появляющимися вблизи зоны влияния разлома. Эти изограды, по описанию, отражают наложенный импульс более высокобарного метаморфизма, по времени более позднего, чем андалузит-силлиманитовый метаморфизм. Но положение этих более молодых изоград на рис. 36 конформно изоградам андалузит-силлиманитового метаморфизма. Из такой рисовки изоград создаётся впечатление, что кианит и силлиманит продолжают Бьюкенскую последовательность и указывают на единый, но не неизобаричный метаморфизм.

10) Стр. 138, рис. 36 и стр. 141, рис. 37. Последовательность изоград на рис. 36 несколько не соответствует прямолинейной конфигурации пунктирного и сплошного трендов на рис. 37. По изоградам последовательность смены индекс-минерал при приближении к разлому следующая: And-Ky-Sil-Ky. А согласно трендам на рис. 37 последовательность - And-Sil-Ky. Поэтому, пунктирный тренд на рис. 37, вероятно, можно было бы расположить немного выше – примерно на 0.3 кбара в средней части. Тогда бы он захватывал в средней части поле кианита и вполне бы соответствовал положению изоград на рис. 36.

11) Стр. 146-147 и стр. 149 содержат привязку пород Чапского и Гаревского участков к субфациям метаморфизма. Но саму сетку фаций с положением пород автор не приводит. Для наглядности и хорошего восприятия информации это необходимо.

12) Стр. 196. Явно не хватает сравнительной иллюстрации эволюции палеоконтинентального и палеоокеанического секторов в P-T координатах.

Большинство замечаний к диссертации носят редакционный характер и не затрагивают её смысловую основу. Эти замечания автор может принять к



сведению и мы надеемся, что Павел Сергеевич их учтёт при подготовке последующих научных статей и производственных отчётов.

Автореферат Козлова П.С. отражает содержание диссертации.

В итоге можно заключить, что диссертация «Геология и тектоно-метаморфическая эволюция докембрийских комплексов западной окраины Сибирского кратона (Северо-Енисейский кряж)» представляет собой законченный научный труд, который является существенным вкладом в геологию Сибири. Диссертация соответствует всем требованиям ВАК, установленным к диссертационным работам на соискание учёной степени доктора наук. Автор диссертации – Козлов Павел Сергеевич заслуживает присуждения степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.01 – общая и региональная геология.

22.04.2022 г.

Составитель отзыва:

Зав. лаб. метаморфизма и метасоматизма ИГЕМ РАН, старший научный сотрудник, д.г.-м.н.

Козловский Василий Михайлович



Козловский В.М.

*119017, Москва, Старомонетный пер. д. 35. ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН; тел.8(916)992-7628; e-mail: [bazily.koz@gmail.com](mailto:bazily.koz@gmail.com)*

Я, Козловский Василий Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

22.04.2022 г.

Козловский В.М.

Подпись автора отзыва,

В.М.Козловского заверяю.

*Зав. кафедрой Метаморфизма и метасоматизма И.И.*



**Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве официального на заседании лаборатории метаморфизма и метасоматизма им. академика Д.С.Коржинского ИГЕМ РАН.**

25.04.2022 г.

Зав. лабораторией метаморфизма  
и метасоматизма ИГЕМ РАН, д.г.-м.н.

Козловский В.М.

Научный руководитель лаборатории  
метаморфизма и метасоматизма ИГЕМ РАН,  
член-корр. РАН

Аранович Л.Я.

Секретарь заседания лаборатории  
метаморфизма и метасоматизма  
ИГЕМ РАН, к.г.-м. н.

Курдюков Е.Б.

Подписи В.М.Козловского, Л.Я.Арановича,

Е.Б.Курдюкова заверяю.

*Зав. кафедрой Метаморфизма и метасоматизма И.И.*

