

ОТЗЫВ

официального оппонента В.А.Макрыгиной на диссертационную работу П.С.Козлова «Геология и тектоно-метаморфическая эволюция докембрийских комплексов Западной окраины Сибирского кратона (Северо-Енисейский кряж)», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.01 – общая и региональная геология.

Актуальность. Геологическому строению, геодинамическим реконструкциям образований Енисейского кряжа и граничащей с ним западной части Сибирского кратона посвящено немало работ, но эта покровно-складчатая структура является настолько сложной, что и сейчас существует немало противоречий в трактовке истории ее становления. Поэтому работа П.С. Козлова несомненно является актуальной, тем более, что автор лично участвовал в геологических съемках разного масштаба региона и спорные участки структур изучал более детально. В работе проведен детальный анализ опубликованного и нового авторского материала по геологии Енисейского кряжа и на этом основании представлены нетривиальные выводы о строении его северной части, особенно по взаимоотношениям палеоокеанических образований северной части Центрально-Азиатского складчатого пояса с палеоконтинентальными толщами западной части кратона.

Цель работы П.С.Козлова состояла в том, чтобы на примере Северной части Енисейского кряжа установить процесс формирования сложной покровно-складчатой структуры, степень участия палеоокеанической и палеоконтинентальной коры кратона и выявить роль гранитоидного магматизма в их эволюции. Цель и задачи работы выполнены. Проведено последовательное изучение геологического положения каждого террейна, составляющего регион, петрографические особенности его пород, эволюция их структур во времени. На основе геохимических и изотопных критериев установлены наиболее вероятные источники вещества, механизмы формирования коры и эволюция гранитоидов.

Фактический материал и методы исследований. Материалы для работы собирались в течение 1979-2010 гг по различным структурным блокам Северо-Енисейского кряжа (СЕК) в процессе геологического доизучения площадей м-ба 1:50000 и научно-исследовательских работ на отдельных участках. Исследования проводились в лаборатории региональной геологии и геотектоники ИГГ УРО РАН, в сотрудничестве с лабораторией метаморфизма и метасоматизма ИГМ СО РАН (научные руководители проектов ак. РАН В.В.Ревердатто и д.г.-м.н. И.И.Лиханов). Изучено 1100 шлифов, около 200 полированных шлифов, сделаны сотни анализов на главные и редкие элементы в лабораториях ИГМ и ИЗК СО РАН и в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Данные по изотопии U, Th, Pb по монациту, ксенотиму, циркону получены в ЦКП «Аналитик» ИГГ УРО РАН, отношения U, Pb, Th выполнены в лабораториях ЦИИ ВСЕГЕИ, методами ID-TIMS, SHRIMP-II. Используемые методы описаны достаточно подробно.

Научная новизна работы состоит в том, что автором впервые обоснован гренвилльский этап формирования Севера Енисейского кряжа (СЕК), как орогена - составляющей части формирующегося в это время суперконтинента Родиния. Найдены реликты глаукофансодержащих парагенезисов, доказывающих существование палеосубдукции (630 млн лет) в Исаковском террейне. Одним из важнейших достижений автора являются реконструкции изменения P-T-t-d условий метаморфизма при тектонической эволюции Гаревского, Тейского и

Приангарского метакомплексов, позволившие обосновать смены геодинамических обстановок внутриконтинентального растяжения сжатием, либо сдвиговыми деформациями. Еще одним важным достижением является установление зоны сочленения палеоокеанического и палеоконтинентального секторов этой крупной структуры по Приенисейской сдвиговой шовной зоне и построение модели Приенисейской палеосубдукционной зоны, как начального этапа раскрытия Палеоазиатского океана.

Практическая значимость работы заключается в использовании этих материалов и построений для создания легенд геологических карт нового поколения, палеогеодинамических реконструкций, а также в возможности с помощью новых схем регионального и дислокационного метаморфизма проводить уточнение площадей разведки на глиноземистое сырье в метаморфических толщах.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается качественным полевым фактическим материалом, большим количеством данных с использованием современных методов анализа и обработки материала. Все это позволило обосновать выводы и основные защищаемые положения работы.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена результатами, которые согласуются с данными других исследователей ЦАСП и подобных объектов в регионе, стране и мире. Замечаний по существу защищаемых положений нет.

Апробация работы. По теме диссертации опубликовано более 50 научных статей, из них 39 в рецензируемых журналах списка ВАК. Диссертация выполнялась в рамках планов НИР Института геологии и геохимии им. академика А.Н.Заварицкого УРО РАН и договоров о научном сотрудничестве и хозяйственных договоров с геологическими организациями Красноярского края.

Объем и структура работы: диссертация состоит из введения, 8 глав и заключения, 63 иллюстраций, 26 таблиц и списка цитированной литературы (363).

В 1-ой главе автор дает обзор истории исследований геологии Енисейского края, особенно Северной, более слабо изученной его части. На период с 1967 по 1997 год в геологических исследованиях региона приходится постепенный переход от геосинклинальной парадигмы к плейттектонической. Затем автор перечисляет выделяемые сейчас крупные террейны в соответствии с «Легендой Енисейской Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 :200000» (Качевский, 1999). Эта сложнейшая структура делится Ангарским разломом на Северную (СЕК) часть края и южную (ЮЕК). Уже в этой главе автор выделяет в составе «СЕК палеоконтинентальный (паравтохтон) и палеоокеанический сектора, принадлежащие структурам окраины Сибирского кратона и Исаковскому террейну», разные по составу (от метапелитов до метабазитов), с описанием их стратиграфии и тектоники. В конце главы описываются основные комплексы гранитоидов, сопровождающих эти подразделения и являющихся границами тектонических этапов.

Главное замечание к этой главе – нет краткого, объединяющего материал вывода.

Во 2-й главе приводится описание методов исследования: от геолого-съёмочных работ до подробного изучения тектоно-метаморфических комплексов петрологическими методами и последовательности их формирования с помощью различных геохронологических методов. Анализ последних работ позволил выделить главные этапы геологической эволюции региона от гренвильского до раннебайкальского.

Основой нового подхода является выявление и подробное картирование участков полиметаморфизма, где проявился синтектонический переход от андалузит-силлиманитового типа метаморфизма ЛН/НТ к кианит-силлиманитовому типу МР/НТ, вплоть до

высокобарического глаукофансланцевого метаморфизма низких температур. Смена типов метаморфизма введена в легенду и «Схему районирования докембрийских тектоно-метаморфических комплексов Енисейского кряжа». Это оказалось особенно важно для расшифровки условий и направления движения надвиговых пластин. В этом, несомненно, помогли геотермометрические и микрозондовые исследования минералов в сумме с компьютерными программами определения P - T - t .

В 3-ей главе автор сравнивает существующие тектонические модели докембрия СЕК. Он справедливо отмечает, что тектонические структуры Енисейского кряжа являются продолжением Байкало-Енисейского (Главного Саянского) разлома и представляют «фрагмент крупной структуры, ограничивающей Сибирский кратон с запада от Байкала до Карского моря». Глава начинается опять с описания перехода от геосинклинальных представлений формирования структур к плейттектоническим. Три описанные тектонические модели различаются образованием террейнов на месте, на гранулитогнейсовом основании (Качевский и др., 1994, 1999), либо их формированием на удалении от кратона на западе (аккреционно-коллизийная модель, Верниковские, 2006, 2009). По 3-ей модели 1 млрд лет назад к западу от Енисея уже существовал Палеоазиатский океан, а гренвильский этап тектогенеза совсем не был проявлен (Ку'змичев, Sklyarov, 2016).

Автор предлагает рифтогенно-коллизийную модель деструкции краевой части Сибирского кратона с формированием СЕК террейна как докембрийского орогена вдоль западного края Сибирского кратона. Его модель подтверждается как петролого-геодинамическими индикаторами, так и изотопным датированием и проявлениями рифтогенных гранитов.

Что касается замечаний к этой, да и другим главам – это очень мелкая графика. Следовало бы участки, важные для подтверждения новых положений, сделать более крупномасштабными.

В 4-ой главе, посвященной петрологическим индикаторам и природе региональных сдвиговых зон Енисейского кряжа, приводится описание наиболее конкретных и доказательных участков синхронного проявления движения надвигов и наложения полиметаморфизма. Закартирована прогрессивная зональность смены андалузитового типа метаморфизма кианитовым по мере продвижения к шву надвига, что однозначно указывает на повышение давления. Однако при повышении давления на 2,5-3 кб температура увеличивается всего на 30-50°C. Это противоречит выводу автора о погружении толщи на 20-25 км. При таком погружении породы достигают пластического состояния, что сопровождается при метаморфизме полной перекристаллизацией породы. В то же время на фотографиях видно, что метаморфизм не затрагивает всю породу, а ограничивается только замещением порфиروبласт андалузита кианитом. Это свидетельствует о том, что главной составляющей P является стрессовое давление (как сам автор называет, дислокационный метаморфизм). Об этом же говорят приводимые автором ассоциации минералов, совершенно не равновесные, где хлорит соседствует с калишпатом, кордиерит с хлоритоидом и т.п. При петрографическом описании шлифов следует выделять последовательные парагенезисы, а не ассоциации минералов. Это помогает разобраться и в этапах формирования породы. Конечно, на Енисейском кряже, где широко развиты признаки аккреционных призм (меланжи, пара- и бластотектониты) смесь может быть всякая, но это надо специально обсуждать, что тоже важно для выводов.

В этой же главе подробно описаны новые данные по строению Ишимбинско-Татарской (ИТРСЗ) и Приенисейской (ПРСЗ) сдвиговых зон. В ИТРСЗ автор выделяет три сектора Северный, Центральный и Южный. Северный, наиболее древний по времени: от 1812 млн лет по U - Pb возрасту цирконов и модельному возрасту Lu - Hf (2750). В нем широко развиты

парабластомилониты, в том числе и бластомилониты по древним гранитам, что является прямым указанием на гранитогнейсовое основание комплекса, относящееся к Сибирскому кратону. Это одно из доказательств деструкции и рифтогенеза западного края СК, легшее в основу предлагаемой П.С.Козловым тектонической схемы развития СЕК. Еще более наглядным является строение Центрального сектора (Центральное поднятие).

Затем подробно описаны и подтверждены датировками участки интрузивного гранитоидного магматизма с возрастом 880-857 млн лет и более позднее наложение дислокационного метаморфизма, затронувшего и граниты (рис. 6). Наверное, впервые приведена метаморфическая зональность, захватившая и граниты предыдущего тектонического этапа. Здесь вновь приводятся многоминеральные ассоциации, но появление ставролита, кианита и хлоритоида снова говорит о значительном увеличении P , а температура растет только на 30°C , что может объясняться преобладанием стрессовой составляющей в P , а не 20 км погружением толщи.

Южный сектор – сфера влияния Татарского разлома. Он интересен тем, что здесь широко проявлен щелочной магматизм, вплоть до карбонатитов и лампроитов с возрастом 725–672 млн лет. Автор не обсуждает причину этого явления, ограничиваясь ссылкой на деструкцию коры кратона. На мой взгляд, это еще раз указывает на зависимость данных процессов от подстилающего материала кратона, где, видимо, под влиянием плюма или мантии уже развит щелочной магматизм, что подтверждает широкий временной интервал геологических процессов в этом блоке коры.

Таким образом, по данным автора Ишибинско-Панамбинская сдвиговая зона с мезо- и неопротерозоя была протяженной полихронной структурой рифтогенеза с импульсами дислокационного метаморфизма и магматизма вплоть до раннебайкальского этапа тектогенеза.

Приенисейская региональная сдвиговая зона, положение которой было наиболее спорным, по исследованиям П.С.Козлова, является главной сутурой, разделяющей палеоконтинентальную и палеоокеаническую части Енисейского кряжа. Он выделяет западное плечо структуры, сложенное метабазит-ультрабазитами, и восточное, представленное континентальным гаревским гнейсо-амфиболитовым комплексом (автохтон). Здесь важно отметить два очень интересных момента: геологическое выявление расщепления погружающегося базитового слэба на субдуцирующий под Гаревский комплекс и обдуцирующий на последний. В гранатах субдуцирующей части слэба найдены реликты глаукофансланцевого парагенезиса, подтверждающие факт субдукции.

5-я глава снова описывает выделенные ранее тектоно-метаморфические комплексы палеоконтинентального и палеоокеанического секторов: петрологические и геодинамические индикаторы становления Северо-Енисейского орогена (1,400 – 0,6 млрд лет).

В 6-ой главе более конкретно обсуждены смены P - T - t трендов в тектоно-метаморфических комплексах палеоконтинентальных (ПКС) и (ПОС) палеоокеанических блоках СЕК. В первых, они характеризуются однотипностью прогрессивных этапов, но на регрессивной ветви эксгумации различаются направлением по часовой или против часовой стрелки в зависимости от денудации или растяжения. В ПОС обнаружены 2 этапа высокобарического метаморфизма (субдукции или сдвиговых деформаций). Таким образом, с помощью новых датировок и петрологического анализа проявлений метаморфизма установлена последовательность развития сложных структур СЕК.

В 7-ой главе выделены главные тектонические этапы в развитии пограничных блоков западной части Сибирского кратона и палеоокеанических террейнов СЕК. Автором выделено 6 этапов в интервале 1.40 – 0.6 млрд лет, то есть доказано, что этот интервал был тектонически

активен. В интервале 1.18-0.9 млрд лет, как раз в гренвилевскую эпоху, формировались и были метаморфизованы Fe-Al пелиты – главные руды данного региона. Эндогенная активность была также установлена на рубежах 1.38, 1.0, 0.87, 0.80-0.78 млрд лет.

8-ая глава посвящена практическим выводам: как влияет разный тип метаморфизма на обеднение или обогащение глиноземистого сырья.

В заключении работы приведены основные выводы по проведенным исследованиям.

Основные замечания. Диссертация написана очень длинно, много повторов, насыщена иллюстрациями, которые следовало бы сделать крупнее и более четко, аккуратно оформлена, хотя присутствуют опечатки. Малочисленные графики и анализы пород лучше приводить не в конце работы, а в тексте. После каждой главы следовало бы сделать краткие выводы. В данной работе они частично переходят в начало следующей главы, создавая повторы. Публикации отражают основные положения диссертации

Соответствие автореферата тексту диссертации. Автореферат и публикации отражают основные положения диссертации.

Заключение. Диссертационная работа П.С.Козлова представляет крупное обобщение материалов по большому сегменту континентальной коры Северной части Енисейского кряжа. Установлена конвергентная граница между палеоконтинентальными и палеоокеаническими террейнами региона. Доказана рифтогенно-депресссионная активность западной окраины Сибирского кратона в интервале 1.84-1.18 млрд лет и усиление рифтогенеза, коллизии и магматизма в 1.40-0.6 млрд лет. Новым и плодотворным оказалось использование смены типов дислокационного метаморфизма для оценки геодинамических обстановок. Достоверность полученных выводов определяется большим количеством собранного полевого материала, использованием комплекса геологических, минералого-петрографических, изотопно-геохимических методов. Актуальность диссертации не вызывает сомнений, имеет высокую степень научной новизны с достаточной обоснованностью защищаемых положений. Ее практическая значимость – использование данных при создании геологических карт нового поколения, проведения палеорекоstructions и новых подходов к оценке глиноземистого сырья региона. Диссертация соответствует п. 8-11 раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней», требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор – Павел Сергеевич Козлов, заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25-00.01 – общая и региональная геология.

Главный научный сотрудник Лаборатории геохимии
гранитоидного магматизма и метаморфизма ИГХ СО РАН
доктор геолого-минералогических наук

В.А. Макрыгина

20 апреля 2022 г.

