

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Козлова Павла Сергеевича «Геология и тектоно-метаморфическая эволюция докембрийских комплексов западной окраины Сибирского кратона (Северо-Енисейский кряж)», представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.01 – Общая и региональная геология

Представленная работа посвящена одному из актуальных направлений – реконструкции основных этапов становления структуры и эволюции Северо-Енисейского кряжа, представляющего собой покровно-складчатый ороген на западной окраине Сибирского кратона. Он является одним из наиболее интересных в геодинамическом аспекте регионов Сибири. Здесь представлен полный разрез докембрия от палеопротерозоя до венда включительно. Тесная ассоциация разнообразных магматических и метаморфических комплексов свидетельствует о весьма сложном строении. Метаморфические породы присутствуют в большей части литосферы и содержат важную информацию о термодинамических параметрах петрогенезиса. Поэтому метаморфизм является одним из индикаторов эндогенных процессов, а его корреляция с магматизмом и тектоникой позволяет реконструировать последовательность событий при развитии литосферы. Этим объясняется повышенный интерес к особенностям формирования и эволюции метаморфических пород в подвижных поясах на границах древних континентов, где проявлены разные типы метаморфизма. В представленной диссертации эти вопросы обсуждаются на примере геологических комплексов Северо-Енисейского кряжа, в составе которых исследованы проявления контактового и LP/HT метаморфизма, обусловленные восходящими движениями магмы, коллизионного метаморфизма MP/HT и HP/LT, связанные с надвигами и субдукцией, а также стресс-метаморфизма при деформационных процессах в сдвиговых зонах.

С другой стороны, повышенный практический интерес к метаморфическим и осадочным комплексам Енисейского кряжа состоит в том, что здесь локализован ряд месторождений, по объему разведанных запасов во многом определяющих минерально-сырьевую базу России: золото, алюминий, марганец, свинец, цинк, ниобий, сурьма, железо и другие виды минерального сырья. Так Енисейский кряж является одним из лидеров среди регионов России по общему потенциалу золотоносности и перспективным регионом в Сибири с потенциальными источниками высокоглинозёмистого сырья из метапелитовых комплексов. В последние годы эти исследования приобретают особую актуальность как в прикладном (алюминиевая промышленность России обеспечена глиноземом собственного производства только на 30%, остальные его объемы импортируются из стран ближнего и дальнего зарубежья), так и в теоретическом аспекте в связи с необходимостью создания количественной теории метаморфогенного рудообразования.

Следует отметить, что в настоящее время автор продолжает свои исследования в рамках проекта РНФ “Метаморфические комплексы Енисейского кряжа: история геологического развития, природа протолитов, сырьевой потенциал”, ориентированного на специфику метаморфических комплексов Енисейского кряжа как потенциальных источников и материнских пород для месторождений и рудопроявлений стратегически важных полезных ископаемых – глинозема и золота. Одним из главных результатов планируемых исследований станет создание крупномасштабных карт метаморфизма опорных участков в пределах Енисейского кряжа как основы прогнозирования ресурсов метаморфогенных полезных ископаемых.

Я хорошо знаком с этим регионом. Мы вместе с П.С. Козловым на протяжении 25 лет проводим исследования разнообразных магматических и метаморфических геологических комплексов Енисейского кряжа с полициклической историей. Павел Сергеевич принимал самое активное участие на всех этапах работ – от постановки задач,

парагенетического анализа и *P-T-t-d* реконструкций до интерпретации результатов исследований и построения тектонических моделей. В полевых же работах он просто незаменим, поскольку обладает многолетним опытом геолога-съемщика в изучении докембрийских провинций в составе Ангарской ГРЭ. Он не только является элитным полевым геологом, но и высококлассным профессионалом-исследователем многих геологических процессов.

Представленная работа явилась результатом многолетних и очень успешных исследований автором докембрийских кристаллических комплексов Енисейского кряжа. Соискатель прекрасно владеет всей совокупностью данных о геологии и тектонике региона и имеет результаты высокого мирового уровня. Я очень рад успешному завершению и появлению такой работы, которая даже в формате автореферата выглядит впечатляюще с четким балансом между главами. Автор всесторонне понимает задачи и обладает знаниями для их успешного решения. В целом же, работа оставляет очень хорошее впечатление, как от качества фактуры, так и от предложенных интерпретаций. Поэтому у меня нет принципиальных замечаний, а дискуссионные аспекты оставляю оппонентам.

Следует отметить, что наиболее интересные результаты исследований получены соискателем при изучении разнообразных геологических комплексов Енисейского кряжа с мультистадийной историей развития. Упомяну некоторые из них: (1) обнаружены и изучены проявления мезопротерозойского рифтогенного гранитоидного и рапакивигранитного магматизма, связанные с процессами растяжения коры; (2) исследован зональный коллизионный метаморфизм, обусловленный тектоническим утолщением земной коры в результате разнонаправленных надвигов; (3) выявлены особенности полициклического развития метаморфических комплексов низких и умеренных давлений, включая оценки скорости экзгумации и длительности тектонических этапов, и выполнено численное моделирование этих процессов; (4) выполнены реконструкции состава и природы протолитов метапелитов, в том числе геодинамических обстановок и времени их формирования; (5) проведено *in situ* датирование этапов метаморфизма по зернам монацитов и ксенотимов в зональных гранатах, определена продолжительность этапов метаморфизма; (6) получены первые свидетельства мезо-неопротерозойских гренвилльских, вальгальских и франклинских аккреционно-коллизионных событий в Заангарье; (7) впервые обнаружены проявления ультравысокотемпературного гранулитового метаморфизма в тектонической обстановке внутриплитного растяжения, сопровождаемого андерплейтингом базитовых расплавов, (8) впервые на Енисейском кряже обнаружены реликты глаукофановых сланцев, являющиеся петрологическим свидетельством субдукции на западной окраине Сибирского кратона; (9) установлена хронологическая последовательность событий, маркирующая ранние стадии развития Палеоазиатского океана в зоне его сочленения с Сибирским кратоном в интервале 800-540 млн лет – от континентального рифтогенеза и раскрытия океана, формирования фрагментов океанической коры в регионе и их причленения к Сибирскому кратону до начала каледонского орогенеза; (10) пересмотрена парадигма “тройной точки” алюмосиликатов с выводом, что минеральная ассоциация “тройной точки” Al_2SiO_5 , в которой все три полиморфа находятся в стабильном равновесии, не устойчива в метапелитах любого химического состава; (11) реконструированы условия петрогенезиса приразломных тектонитов западной окраины Сибирского кратона с превышением ориентированного тектонического давления над литостатическим в глубинных зонах сдвиговых деформаций, подтверждающие представления о роли тектонического стресса как дополнительного термодинамического фактора метаморфических преобразований в шовных зонах земной коры; (12) выполнен анализ ресурсной базы глинозёмсодержащих полезных ископаемых региона, охарактеризованы месторождения и рудопроявления высокоглинозёмистых сланцев-концентраторов минералов группы силлиманита, а также месторождений бокситов и нефелиновых сиенитов и рассмотрены перспективы создания

на их базе промышленных производств глинозема, силумина, алюминия и другой высокотехнологичной продукции в Приангарье и пр. Эти результаты позволили создать новое представление о геологическом развитии Северо-Енисейского кряжа в докембрии и процессах, сформировавших его тектонический облик, в том числе была разработана геодинамическая модель Приенисейской палеосубдукционной зоны на разные временные интервалы, сформированной в результате коллизии Касско-Туруханского микроконтинента с Сибирским кратоном. Результаты этих исследований опубликованы в ведущих отечественных и престижных зарубежных журналах, многие из которых входят в Q1 по базе данных Web of Science.

Важным фундаментальным результатом исследований автора является усовершенствование методики интерпретации развития комплексов с полициклической историей, где разные типы метаморфизма сочетаются между собой в контрастных геодинамических обстановках, и расширение возможности ее применения для палеотектонических реконструкций типов пород, локализованных преимущественно на конвергентных границах литосферных плит. При этом решение поставленных задач осуществлялось с использованием инструментов и методов анализа метаморфизма на уровне современных мировых стандартов.

В геодинамическом блоке исследований важным достижением является установленная синхронность магматической активности и сопутствующего рифтогенеза, а также схожая последовательность однотипных тектоно-термальных событий на арктической окраине Нуны и Родинии, что подтверждают территориальную близость Сибири и кратонов северной Атлантики (Лаврентии и Балтики) в широком диапазоне времени (1.4-0.7 млрд лет) и согласуется с современными палеомагнитными реконструкциями положения суперконтинентов и временными диапазонами формирования крупных изверженных провинций. Эти построения разрешили ряд противоречий в трактовке ключевых вопросов геологии региона, например ранние предположения некоторых исследователей об отсутствии на Енисейском кряже мезопротерозойских, в том числе гренвильских коллизионных событий.

Следует отметить, что интервал геологической эволюции Земли между 1,8 и 0,75 млрд лет назад, известный в литературе как скучный миллиард (boring billion) (Buick et al., 1995), характеризуется низкой эндогенной активностью, что контрастирует с драматическими изменениями в предыдущие и последующие эпохи. Такой глобальный перерыв в проявлении эндогенной активности и процессов осадконакопления был установлен, например, в докембрийской истории развития южной части Сибирского кратона. Однако причина подобного явления до настоящего времени остается предметом дискуссий. Некоторое время назад мы общались на тему скучного миллиарда с Гуачаном Джао – главным редактором Precambrian Research. Он в восточной манере и с юмором подвел итог дискуссии: “Maybe. I think that study of the misnamed “Boring Billion” is just getting started. I think it should be renamed “The Super-Interesting Billion”. И добавить к этому нечего. Так что эти проблемы еще далеки от окончательного решения.

В целом, я очень высоко оцениваю научные результаты автора. Автореферат написан ясным научным языком, а достоверность выводов подтверждается богатым фактическим материалом, скрупулезностью минералого-петрографических, геохимических и петрологических исследований, разнообразием методических подходов и глубоким анализом полученной информации в рамках современных представлений о суперконтинентальных циклах. *Таким образом не вызывает сомнений, что работа Павла Сергеевича Козлова выполнена на высоком профессиональном уровне и полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.01 – общая и региональная геология.*

Лиханов Игорь Иванович
Доктор геолого-минералогических наук
Ведущий научный сотрудник
Лаборатория метаморфизма и метасоматоза
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и
минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук
630090, г. Новосибирск, пр. ак. Коптюга, д.3
<https://www.igm.nsc.ru/>
e-mail: likh@igm.nsc.ru
тел: 8-913- 935-39-16

Я, *Лиханов Игорь Иванович*, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

17 апреля 2022 г.

д.г.-м.н.



Лиханов Игорь Иванович

Подпись Лиханова Игоря Ивановича *выдано* (заверено) канцелярией Шипова Евгения Евгеньевна).

