

В диссертационный Совет Д 003.067.03 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск.

### **ОТЗЫВ официального оппонента**

на докторскую диссертацию Травина Алексея Валентиновича «Термохронология субдукционно-коллизийных, коллизийных событий Центральной Азии», представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Диссертация посвящена фундаментальной проблеме реконструкции роста и преобразования земной коры на примере истории развития Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) - сложно построенного и длительно эволюционирующего орогена. Работами соискателя развивается относительно новое для отечественной геологии направление термохронологического анализа, основанное на синтезе петролого-тектонических данных с изотопно-геохронологическими (главным образом, U-Pb и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  системы с различающимися температурами изотопного закрытия минералов-геохронометров). Автору удалось успешно продемонстрировать такой инструментарий в приложении к исследованию ключевых раннепалеозойских, герцинских субдукционно-коллизийных, коллизийных структур Центральной Азии, уточнить реконструкцию основных этапов их формирования, сопоставить возраст, интенсивность, продолжительность тектоно-термальных событий. Безусловно наибольшую ценность представляют результаты  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования. Это важнейшее направление, заложенное предшественниками, А.В. Травин успешно развивает, поддерживая на должном уровне роль отечественной (новосибирской) школы. Остается только приветствовать важное в стратегическом плане решение, которое было своевременно принято руководством СО РАН, о приобретении современного оборудования и развитии изотопно-геохронологического направления ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  масс-спектрометрия в ИГМ СО РАН, г. Новосибирск; U-Pb геохронология по цирконам, метод LA-ICP-MS, ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ).

В главе 1 приведен краткий обзор истории зарождения термохронологии, основные теоретические посылы, включая температуру изотопного закрытия или остывания (closure temperature), модельные кинетические параметры диффузии. Приведенный в целом достаточный обзор, можно было бы дополнить краткими сведениями о самых последних современных методах реконструкции относительно низкотемпературных событий эксгумации и деформаций тектонических блоков через детритовую цирконологию ("двойное датирование" циркона и апатита, U-Pb, U-Th/He методы, double dating). Цитируемая в диссертации классическая сводка К.Ходжеса по термохронологии относится к 2003 г., а не к 2004 (Hodges, 2003). В кратком разделе о численном термохронологическом моделировании неясным остался вопрос, каким образом на расчеты влияет геотермальный градиент и как его

корректно оценить, если нет данных по минеральной термобарометрии метаморфических комплексов. Изложенный подход на стр. 24, по существу, постулирует априори принятое значение  $30^{\circ}$  С/км ("нормальный геотермический градиент"), которое не характерно для стадий эволюции орогена с повышенной магматической активностью.

Тезис о разработке термохронологического подхода (первое защищаемое положение), по-видимому, корректнее отнести именно к реконструкции истории развития ЦАСП. Использование мультиминеральных геохронометров, моделирование диффузии и остывания при термохронологических реконструкциях с выходом на реконструкцию истории вскрытия тектонических блоков - подход широко распространенный в зарубежных работах (напр. Lovera, 1992; Lister and Baldwin, 1996; Spear & Parrish, 1996).

В главе 2 изложена методика изотопного датирования. Достаточно подробно и обстоятельно это касается  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  датирования - ключевого метода для термохронологических реконструкций. При участии автора создана система подачи образцов из "елочки" в кварцевый реактор с малоинерционной печью. Решение простое и одновременно очень рациональное. Ещё одним достижением соискателя является уточнение возраста стандартного образца МСА-11, широко применяемого в отечественных лабораториях при К-Аг датировании. При рассмотрении внутренних критериев достоверности  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  возраста (стр. 38) соискатель указал на главные из них, касающиеся валидности плато, но опустил необходимость приведения таких важных характеристик плато и изохронного возраста как СКВО и вероятность (p), а также правильно выбранный масштаб на графиках "доля выделенного  $39\text{Ar}$  vs. возраст" (Baksi, 2004). Эти характеристики далеко не всегда приводятся в тексте диссертации при анализе конкретных результатов.

В главе 3 рассмотрены термохронологические результаты изучения высокobarических комплексов ЦАСП. Исследование таких комплексов (НР, УНР) очень популярно среди исследователей, так как они позволяют идентифицировать захороненные палеосубдукционные зоны в сложно построенных орогенах. Ключевым при их исследовании остается вопрос, как быстро такие ультраглубинные образования были экспонированы на поверхность и какие тектоно-магматические процессы за это ответственны. На примере Кокчетавской субдукционно-коллизийной зоны, эклогитовых и глаукофановых пород Максютковского метаморфического комплекса, Чарской и Уймонской зон, соискатель убедительно демонстрирует возможности и, одновременно, ограничения  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  метода для расшифровки сложной истории развития комплексов с порой неоднозначной интерпретацией. Автор непосредственно участвовал в изотопных исследованиях для большинства этих комплексов и совершенно верно акцентировал внимание на необходимости сравнительного ("сквозного" по автору) изотопного изучения серии образцов, как различающихся, так и не различающихся по степени метаморфизма и составу (стр. 48). При таком подходе может быть достаточно надежно воспроизведена термохронологическая история отдельных блоков земной коры, испытавших эволюцию при близких параметрах P-T-t. Исключительно интересными и оригинальными представляются авторские исследования по фенгитам и глаукофанам из эклогитов максютковского комплекса на Урале, для которого опубликовано большое количество изотопно-геохронологических и термохронологических

данных. Методическое значение работы А.В.Травина заключается в совместном анализе  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  изотопных данных для фенгитов, различающихся по составу и эффективному размеру. Датирование, моделирование и расчеты позволили автору заключить, что поведение К-Аг системы в фенгитах определяется механизмом объемной диффузии, а при возрасте высокобарного метаморфизма не моложе 400 млн лет, скорость эксгумации комплекса достигала 0.34 - 0.46 мм/год. Намечающаяся прямая зависимость  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраста от размера пластин фенгита и состава (рис. 3.6), как будто не противоречат такому заключению. Однако хотелось бы оценить и несколько иную интерпретацию, которая может быть связана с наличием инородных минеральных включений в фенгитах, содержащих некоторую долю унаследованного "избыточного" аргона (что приводит к удревнению Аг дат). Чем больше размер пластинок фенгита, тем больше шансов захвата таких микровключений при датировании. В тексте диссертации отсутствует петрографическая информация о наличии/отсутствии микровключений в фенгитах.

Для хорошо изученного изотопно-геохронологическими методами террейна Кумбы-Коль автором было дополнительно проведено  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирование мусковита и турмалина из метаморфических пород, ассоциирующих с высокоалмазными гранат-биотитовыми гнейсами и получен интересный результат о трех кратковременных (<1 млн лет) термохронологических эпизодах, которые происходили в условиях хрупко-пластических деформаций. Для кулетских слюдястых сланцев А.В.Травин, анализируя результаты из работы (Theunissen et al., 2000) предполагает для части датировок слюд присутствие избыточного радиогенного Аг на основании только большого разброса и отсутствия согласования с датированием другими методами. Учитывая важность этого момента в методическом плане, хотелось бы получить более обстоятельный анализ таких дат, включая разбор результатов по обратной изохроне.

В главе 4 рассмотрена термохронология Приольхонской коллизионной структуры. Кроме двух выделенных ранее рубежей синметаморфического гранитоидного магматизма, А.В. Травин на основании  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования выделяет ещё два, отражающие события на рубежах 440-430 и 410-400 млн лет, геодинамическая природа которых не ясна и требует выяснения. В постановке новых вопросов как раз и заключается новизна. Из других важных и новых результатов соискателя можно отметить следующие: 1) дискретный характер событий в течение длительного общего промежутка времени (100 млн лет) при перемещении Чернорудской литопластины с глубины 27 км до 10 км; 2) синхронность проявления сдвиговых деформаций в пределах Приморского разлома, коллизионного шва и комплекса Орсо в интервале 445-434 млн лет; 3) два этапа термической эволюции и экспонирования гипербазитовых будин полуострова Шида и Харикта-Тог.

В сложной истории становления и тектонического экспонирования Бирхинского габброидного и Айского гранитного массива автор выделяет по крайней мере четыре этапа. К результатам  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования и авторской интерпретации есть несколько вопросов и возражений: 1) остался неясным возраст становления (кристаллизации) монцогабброноритов 2 фазы Бирхинского массив; 2) для некоторых образцов (рис. 4.21) обсуждаемые плато не отвечают внутренним критериям достоверности (в амфиболе Т-36б для объявленного плато

доля выделившегося  $^{39}\text{Ar} < 30\%$ , средний участок с возрастом около 500 млн лет смотрится более предпочтительно, так как не противоречит геологическим соотношениям); 3) данные по биотитам для обр. Ол-17 и 1 корректно проинтерпретированы быть не могут (доля  $^{39}\text{Ar} < 35\%$ , нет СКВО и р). Осталось неясным как автор интерпретирует противоречивые с позиции геологических соотношений результаты, изложенные на рис. 4.22: "биотит из пегматита с возрастом плато 413 млн лет прорывает гранит Айского массива с возрастом плато для биотита 391 млн лет". На широко применяемых автором термохронологических интерпретационных диаграммах "возраст-температура" (начиная с рис. 3.14 до рис. 4.25 и далее) неясным остается значение пунктирных стрелок, показывающих прогрессивные по температуре этапы эволюции. Каково геологическое выражение этих пертурбаций температур (и есть ли таковые вообще) ? Ведь возраста цирконов в единой зоне или комплексе отражают главным образом разный возраст кристаллизации дискретных магматических комплексов, т.е. не связанные тектоно-термальные события (напр. рис. 4.23). Взаимоотношения Бирхинского и Айского массивов разного возраста не очевидны (рис. 4.20 и 4.24), следовательно они могли экспонироваться до температуры закрытия Ar системы отдельными блоками.

В целом, для Ольхонского региона получен, в том числе с участием А.В.Травина, уникальный по объему изотопно-геохронологический и структурно-геологический материал. В этом смысле район становится эталонным для понимания эволюции аккреционно-коллизийных комплексов. Автор, обобщив все имеющиеся данные, предложил в целом непротиворечивую модель термической эволюции литопластин Ольхонского региона и сценарий геодинамического развития.

В главе 5 проводится сравнительный анализ термохронологической истории каледонских коллизийных структур ЦАСП. Предложенная схема и тектоническая этапность в том числе основывается и на результатах датирования ключевых магматических комплексов. Интерпретация результатов  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования амфиболов в Правотарлашкинском и Баянскольском массивах вызывает некоторые сомнения (рис. 5.2 - количество ступеней плато  $< 3$ , выход  $^{39}\text{Ar} < 35\%$ , некорректный масштаб по оси ординат). К остальным данным возражений нет. Из интересных и важных результатов отметим вывод о кратковременности ( $< 1$  млн лет !) активных термических событий - эпизодов интенсивных сдвиговых деформаций и инициированного объемным базитовым и гранитным магматизмом прогрева. Так, продолжительность высокоградного метаморфизма в Тарлашкинском участке Сангилена А.В.Травин оценивает в  $< 1$  млн лет. Еще одно важный результат относится к выводу о субсинхронности проявлений высокоградного метаморфизма и магматизма (например, ранний метаморфизм и дайки кварцевых диоритов Дербинского микроконтинента). Какое из событий, в этой связи, соискатель представляет себе инициирующим ?

Обобщая данные, А.В.Травину удалось подойти к корреляции термохронологической истории удаленных террейнов (рис. 5.12) и в какой-то степени подтвердить идею Н.Л.Добрецова (2003) о периодичности (30-25 млн лет) и синхронизации тектонических процессов с плюмовой активностью на рубежах 530, 500, 470, 450 млн лет. Однако, осталось

неясным где пространственно и как можно идентифицировать эти плюмы (в виде проявлений большеобъемного базальтового магматизма, либо скрытых областей и каналов повышенного теплового потока ? ).

В главе 6 рассматривается термохронология коллизионных структур западного сегмента ЦАСП. Наиболее интересные и представительные результаты получены по Калба-Нарымскому батолиту. Прямое практическое значение имеют оценки возраста магматических комплексов, вмещающих редкометальное с золотом оруденение. Осталось неясным, как на рис. 6.7 объясняется положение монастырского комплекса и в стадии постколлизионного растяжения и в стадии трансформной окраины. В свете предметного обсуждения возраста деформаций, исключительно важным представляется датирование синтетектонических минералов в Иртышской сдвиговой зоне. Некоторые сомнения вызывает лишь результат по биотиту  $^{91}\text{Rb}$ , которому автор придает значение. Судя по характеру ступеней, объявленное плато с возрастом 267 млн лет визуально имеет высокое СКВО (к сожалению, численное значение не приведено на рис. 6.10).

Заключительный синтез результатов, включая обзор зарубежной литературы по Китайскому Алтаю, позволил А.В.Травину сформулировать основные выводы, которые относятся к оценке возраста интенсивных сдвиговых деформаций в регионе (~ 282 млн лет и древнее) и к новой оценке интегральной амплитуды смещения по сдвигу (на два-три порядке меньше, чем это предполагалось ранее). Реконструированные соискателем дискретные по времени импульсы активных термических событий оцениваются с периодичностью в 25-15 млн лет (стр. 228). Полученные данные имеют и эвристическое значение, так как ставят новые вопросы (например, о причинах отсутствия следов сдвиговых деформаций в Монгольском Алтае, для интервала древнее 280 млн лет).

Высказанные замечания носят непринципиальный характер в отношении защищаемых положений, которые достаточно обоснованы и апробированы публикациями в рецензируемых научных журналах. Стил изложения текста диссертации достаточно краткий и ясный, легкий для восприятия.

В диссертации А.В. Травин продемонстрировал сполна возможности термохронологического подхода, высокую квалификацию при анализе получаемых результатов. Соискатель предложил и развивает новое (по крайней мере, для отечественной геологии) направление, позволяющее по новому и более предметно обсуждать реконструкцию эндогенной историю крупных блоков Земной коры, основываясь на современных методах изотопной геохронологии и термохронологии. В практическом смысле, работы А.В.Травина имеют прямое значение при проведении геолого-съёмочных работ для уточнения возрастных схем метаморфических, магматических и метасоматических комплексов, а также при прогнозно-поисковых металлогенических построениях. В фундаментальном плане результаты, полученные соискателем, расширяют наши представления о последовательности и длительности геологических процессов, позволяют ограничивать геодинамические модели эволюции сложно построенных орогенов.

Представленная работа отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям. Поддерживаю присуждение А.В.Травину искомой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Акинин Вячеслав Васильевич, доктор геолого-минералогических наук,  
заместитель директора по науке, заведующий лабораторией петрологии, изотопной геохронологии и рудообразования  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило,  
Дальневосточного отделения Российской академии наук.  
адрес: 685000 Магадан, ул. Портовая 16, Тел.: 84132630651, E-mail: akinin@neisri.ru

Дата оформления отзыва - 10 мая 2016 г.

*Я, Акинин Вячеслав Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета и их дальнейшую обработку.*

Подпись В.В. Акинина удостоверяю.

И.о. зав. Отделом кадров СВКНИИ ДВО РАН



(Акинин В.В.)

Соломенцева Е.А.