

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии

Российской академии наук

д.г.-м.н. К.В. Лобанов



«26» апреля 2016 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии
рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии
наук (ИГЕМ РАН) на диссертационную работу

Травина Алексея Валентиновича

«Термохронология субдукционно-коллизийных, коллизийных событий Центральной
Азии», представленную на соискание степени доктора геолого-минералогических наук по
специальности 25.00.04 – петрология, вулканология

Актуальность. В мировой литературе в настоящее время большое внимание уделяется механизмам континентального корообразования, особенно в складчатых поясах с длительной и сложной геологической историей, каким является Центрально-Азиатский складчатый пояс. Однако в большинстве работ затрагиваются вопросы времени и эволюции магматизма и условий глубокого метаморфизма, тогда как термическая история геологических комплексов и тектонических событий обычно остаются без внимания. Именно этот пробел заполняет диссертационная работа Травина А.В., посвященная термохронологии метаморфических и магматических комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса и анализу истории их глубинного формирования и выведения к поверхности.

Цель работы определена как реконструкция характера и длительности тектоно-термальных событий, проявившихся на аккреционных и коллизийных этапах формирования каледонских и герцинских метаморфизованных структурно-вещественных комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса. Для достижения этой цели были выполнены определения возраста минералов с различной температурой закрытия изотопных систем, проведено математическое моделирование динамики процессов

изотопной диффузии и прогрева минералов-геохронометров и осуществлена корреляция выявленных тектоно-термальных событий между различными геологическими структурами. Поставленные в работе цели достигнуты, а задачи выполнены.

Фактический материал и методы исследований. Основным методом исследования автора является датирование минералов с различной температурой закрытия К-Аг изотопной системы (амфибол, полевые шпаты, слюды, турмалин) методом $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ с привлечением U/Pb геохронологических данных по циркону. В основу работы положено более 130 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ определений возраста, полученных непосредственно автором или под его руководством по актуальным на сегодняшний день методикам, что не оставляет сомнений в надежности полученных результатов. В качестве объектов для исследований выбраны геологические комплексы, являющиеся представительными для геологических структур, занимающих ключевое положение в геодинамической эволюции Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Научная новизна работы. Использование современных геохронологических методик мультиминерального изотопного датирования и оригинального подхода к их сопоставлению позволили автору впервые оценить время метаморфических преобразований, скорость и время подъема глубинных геологических комплексов к поверхности для многих ключевых палеозойских структур Центральной Азии. Впервые проведена корреляция среднетемпературных тектонических событий в пределах каледонид Центрально-Азиатского складчатого пояса и зоны их тектонического сочленения с герцинидами.

Практическая значимость работы состоит, прежде всего, в совершенствовании разномасштабных геологических карт и схем корреляции метаморфических и магматических событий Центральной Азии. Кроме того, работа вносит вклад в понимания механизмов эксгумации глубоких горизонтов континентальной коры, в том числе потенциально рудоносных.

Степень обоснованности и достоверности научных положений. Большой объем качественных аналитических данных, обоснованный подход к моделированию поведения изотопных систем в минералах-геохронометрах, а также критический анализ обширной геологической литературы позволяют считать защищаемые положения достоверными и хорошо обоснованными. Замечаний по существу защищаемых положений нет.

Апробация работы. Представленные в диссертации результаты опубликованы в 46 статьях в журналах, рекомендованных ВАК, около 20 в других изданиях и докладывались на многочисленных российских и международных конференциях. Исследования были поддержаны РФФИ (4 проекта) и Программой Президиума СО РАН.

Объем и структура работы. Диссертация объемом 320 страниц состоит из введения, 6 глав с 99 рисунками, списка цитированной литературы из 484 библиографических наименований и приложения с 27 таблицами.

В главе 1 кратко освещается история становления термохронологии как метода исследования геологических комплексов, рассматриваются теоретические основы термохронологического подхода, ограничения и особенности применения метода. Здесь обсуждаются особенности закрытия изотопных систем минералов и те геологические события, которым могут соответствовать получаемые определения возраста. Также в этой главе кратко рассмотрено геологическое строение Центрально-Азиатского складчатого пояса и показана малая изученность этого сложно построенного региона с позиции термохронологии.

Главное замечание к этому разделу состоит в том, что не рассмотрено региональное тектоническое положение детально изученных в диссертации геологических структур и их место в последовательности тектонических событий в этом регионе. Соответственно, не освещенными остаются те тектонические проблемы, которые в дальнейшем успешно решаются на примере конкретных объектов. Непонятным остается как «большое количество новых геологических и геохронологических данных» может служить «обоснованием существования большого океана» (стр. 25), поскольку доступные для изучения геологические комплексы отражают этапы роста континентальной коры. Размеры же океана, разделявшего отдельные геологические структуры, в лучшем случае, можно оценить по палеомагнитным данным.

Вторая глава посвящена методам изотопного датирования, используемым автором ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и U/Pb). В ней рассмотрены теоретические основы и непосредственные особенности датирования в лаборатории автора. Используемая и разработанная с участием соискателя методика $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования не вызывает нареканий. Геохронологические данные, полученные в этой лаборатории по описанной методике, многократно показали хорошую сходимость с результатами датирования другими методами.

В главе 3 объединены результаты изучения термохронологии высокобарических пород на примере максютовского комплекса Южного Урала, Кокчетавского массива Северного Казахстана, Уймоской зоны Горного Алтая, Чарской зоны Восточного Казахстана и Куртушубинского хребта Западного Саяна.

Непосредственные данные изотопного датирования и моделирование динамики переуравновешивания K/Ar изотопной системы в фенгите максютовского комплекса позволило автору приблизиться к оценке времени собственно метаморфического события

по ядрам зерен фенгита и глаукофану и обосновать разброс $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и Rb/Sr оценок возраста этих пород. Наиболее важным представляется определение скорости эксгумации метаморфических пород максютовского комплекса (не более 0,46 мм/год).

На основе сопоставления оценок времени закрытия изотопных систем разных минералов высокобарических пород из разных участков Кокчетавского массива А.В.Травин убедительно показал кратковременность метаморфических событий и быстрое (первые млн. лет) выведение глубокометаморфизованных пород с глубинных горизонтов континентальной литосферы (150-200 км) до верхних уровней коры. Установлено отсутствие синхронизации метаморфических событий сверхвысоких давлений в различных участках Кокчетавского массива, что позволяет рассматривать их как независимые тектонические пластины.

Для уймонской свиты Горного Алтая, считавшейся выступом протерозойского фундамента, установлен раннеордовикский возраст метаморфизма в надсубдукционных условиях и быстрая эксгумация метаморфических пород с глубины около 25 км. В качестве возможной причины прекращения субдукции рассматривается коллизия симаунта и островной дуги. Надо отметить, что такая коллизия, как показывают многочисленные геологические данные и результаты моделирования, как правило, не приводит к запиранию зоны субдукции, а лишь к «срезанию» симаунта с океанического фундамента и его вовлечению в аккреционный комплекс. Поэтому такая геодинамическая интерпретация нуждается либо в иллюстрации с более детальным обоснованием, либо в пересмотре.

Для эклогитов и глаукофановых сланцев Чарской зоны по фенгиту и амфиболу установлены согласующиеся значения позднеордовикского возраста разноглубинного метаморфизма, свидетельствующие о быстрой эксгумации метаморфических комплексов. Эти данные представляют особый интерес с позиции оценки возраста офиолитов. В последнее время во многих работах офиолитам приписывается возраст тектонических блоков в меланже, породы которых, с одной стороны, пригодны для датирования, а с другой стороны, могут не иметь прямого отношения к другим комплексам офиолитовых комплексов. Это хорошо иллюстрируют полученные соискателем и опубликованные данные по Чарской зоне, где в меланже блоки метаморфизованных в позднем ордовике океанических пород ассоциируют с познедевон-раннекарбонowymi морскими осадочными комплексами. В тоже время, из текста диссертации не ясно, почему метаморфические события связываются с субдукционной обстановкой, тогда как геохимические характеристики пород отвечают океаническому плато.

В главе 4 демонстрируется приложение $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ термохронологии к этапизации процесса постметаморфического остывания каледонской Приольхонской коллизионной структуры (Западное Прибайкалье). Этот комплекс детально изучен В.С. Федоровским в содружестве с иркутскими коллегами, в результате чего изданы уникальные по детальности геологические карты Приольхонья. Для большинства магматических и метаморфических типов пород уже имеются прецизионные U-Pb определения возраста по цирконам, которые показывают время пиковых эндогенных событий. История остывания и эксгумации в Приольхонском регионе реконструирована на основе $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования автором диссертации.

Значительная часть главы посвящена описанию сложного строения Приольхонского комплекса и своеобразным проблемам его магматической и метаморфической истории, укладывающейся в интервал от 500 ± 5 млн. лет до 470 ± 5 млн. лет, и начавшийся с внедрения дометаморфических габбро-пироксенитов и закончившийся становлением щелочных габбро и сиенитов. Все эти породы затронуты зональным неизобарическим каледонским метаморфизмом от ставролит-андалузитовой до гранулитовой фации с анатектитами эндербитового и сиенитового состава в гранулитовой фации и биотитовыми гранитами в амфиболитовой фации.

Для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования выбран ряд участков, описано их строение и пиковые минеральные парагенезисы и проведено датирования по биотитам, мусковитам, амфиболам и полевым шпатам. Получен довольно широкий спектр оценок возраста в интервале от 460 до 400 млн. лет. При отсутствии в Приольхонском коллизионном комплексе в этом интервале каких-либо эндогенных проявлений, автор связывает их с локальными проявлениями милонитизации и бластомилонитизации, выделяя два дискретных импульса этих процессов с возрастными значениями 435 ± 10 и 415 ± 5 млн. лет. Эти импульсы сопряжены с активизацией системы проникающих разломов первого порядка, главными из которых считаются Приморский разлом и внешний коллизионный бластомилонитовый шов, отделяющий Приольхонский комплекс от Сибирской платформы. Все полученные значения возраста методически корректны и сомнений не вызывают.

Но при интерпретации полученных данных возникают спорные моменты. Приморский разлом ограничивает акваторию Байкала в Приольхонье и имеет кайнозойский возраст, и потому связанные с ним милониты не могут привязываться к позднекаледонскому этапу в отличие от мощного коллизионного шва на границе с платформой, для которого позднекаледонский возраст сомнений не вызывает.

Второе замечание относится к обобщающей диаграмме P-T (рис. 4.26), на которую выявленные с помощью $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ термохронологии возрастные импульсы, связываемые с возможными хрупко-пластическими деформациями при остывании высокотемпературных пород Чернорудской зоны, нанесены на некий усредненный общий P-T тренд эволюции гранулитовых комплексов, включающий их медленный подъем и остывание. На его основе автор утверждает, что породы Чернорудской зоны Приольхонья в ходе остывания до 400°C за 100 млн. лет, переместились с глубины 27 км до уровня, меньше 10 км. Но это только предположение, поскольку минеральные индикаторы снижения давления не приводятся. И почему невозможно изобарическое остывание пород в зоне коллизии просто из-за снижения интенсивности теплового потока? Это следовало бы обосновать. И еще замечание: реальность двух дискретных импульсов (бласто)милонитизации необходимо было проверить статистически, поскольку приведенный в работе спектр полученных на разных участках возрастов очень широк, и не исключено, что при большем количестве проб они могли бы сгруппироваться в одну линию, отражающую постепенное остывание пород.

Также есть замечание к термохронологии Бирхинского габброидного массива, для которого автор интерпретирует $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраст магматического амфибола как время закрытия изотопной системы в результате охлаждения при его тектонической эксгумации с учетом геотермического градиента. Почему этот возраст не отвечает изобарическому остыванию габброидного массива ниже 500°C ?

Высказанные замечания не умаляют большой ценности исследования, проведенного автором, и существенно дополняющим тренд эволюции Приольхонской коллизионной структуры на оставшемся слабо изученным постметаморфическом этапе.

Глава 5 объединяет данные по термохронологии раннепалеозойских метаморфических событий в Сангиленском нагорье Тувино-Монгольского микроконтинента, Слюдянском комплексе (Южное Прибайкалье), Дербинском микроконтиненте (Восточный Саян) и Баянхонгорской офиолитовой зоне (Центральная Монголия). С одной стороны, это удаленные друг от друга геологические структуры с различным строением и историей формирования. С другой стороны, автором диссертации показано, что в их среднетемпературная история во многом синхронизирована и датированные по амфиболу и биотиту тектонические процессы находят отражение в событиях наиболее детально изученного Приольхонского региона. Таким образом, практически по всем внешним границам раннекаледонского супертеррейна Центральной Азии проявлены раннепалеозойские метаморфические события иногда сопряженные с магматизмом. Вызывает лишь сомнение, что автор видит связь этих событий с

глобальными тектоническими событиями планетарного масштаба. Для таких выводов необходимо привлечение более широкого набора данных по другим регионам. Учитывая то, что раннекаледонский супертеррейн Центральной Азии представляет собой мозаику микроконтинентов спаянных позднеопротерозой-раннепалеозойскими ювенильными островодужными комплексами, которые совместно были аккрецированы к окраине Сибирского кратона в раннем палеозое, не стоит ли связывать выявленные синхронные тектонические события с этапами «спаивания» самого супертеррейна и его последующей аккреции к кратону?

Термохронологическая характеристика области сочленения каледонид и герцинид Центрально-Азиатского складчатого пояса представлена в главе 6. Эта область, протянувшаяся на расстояние около 1500 км, в работе рассмотрена на примере трех секторов: Восточно-Казахстанского, Китайского Алтая и Боданчинского метаморфического комплекса Юго-Западной Монголии. Непосредственно авторские данные относятся к Восточно-Казахстанскому сектору и Боданчинскому блоку. В первом наиболее детально изучены гранитоиды Калба-Нарымского батолита и метаморфические породы Иртышской сдвиговой зоны. Для Калба-Нарымского батолита показана длительная и этапная история (около 30 млн. лет) его формирования, завершающие этапы которой происходили синхронно с основными деформациями в Иртышской сдвиговой зоне около 282 млн. лет назад. Примечательно, что термохронологический подход позволил ограничить амплитуду смещения по Иртышской сдвиговой зоне в масштабах $n \cdot 10$ км, а не ~ 1500 км, как предполагалось в некоторых, но далеко не во всех, палеомагнитных работах.

Несмотря на очевидные достижения автора в изучении хронологии тектонических событий в этом регионе, некоторые заключения вызывают вопросы, а постоянно появляющиеся новые данные свидетельствуют о преждевременности отдельных выводов. Так, вывод об отсутствии магматической и деформационной активности в Боданчинском блоке с возрастом 312 и 286-278 млн. лет явно поспешный, поскольку, во-первых, непосредственно в Целской метаморфической пластине изучены метаморфизованные габброиды и гранитоиды с возрастами магматизма 322, 309-307, 281-279 млн. лет (Burenjargal et al., 2016; Bugianek et al., 2016). Во-вторых, эти этапы тектонической и магматической активности зафиксированы в 300-400 км восточнее Боданчинского блока на простирании этих же метаморфизованных комплексов (Kroner et al., 2010, Demoux et al., 2009, Козаков и др., 2007). Предлагаемый импульсный характер тектонических событий в зоне сочленения каледонид и герцинид с периодичностью 25-15 млн. лет также, скорее всего, с появлением новых данных может слиться в единое длительное событие,

что уже практически наблюдается для Китайского Алтая. С другой стороны, движения по этой зоне разлома продолжаются и сейчас, что может приводить к частичному нарушению изотопных систем минералов-геохронометров.

Заканчивая рассмотрение основных разделов диссертации, следует отметить, что работа хорошо оформлена с необходимыми и достаточными иллюстрациями и ссылками на литературные данные. Она написана ясным языком с малым количеством опечаток.

В качестве недостатков работы в целом следует отметить: 1) неточное соответствие защищаемых положений в диссертации и автореферате, при сохранении информационной нагрузки; 2) повторы методики датирования в главах 3-6, при том, что непосредственно этой теме была посвящена глава 2; 3) путаница в применении стратиграфических (нижний, верхний) и геохронологических (ранний, поздний) подразделений; 4) отсутствие обобщающих разделов в некоторых главах и в диссертации в целом.

Соответствие автореферата тексту диссертации. В автореферате сохранена структура диссертации, он информативен, хорошо проиллюстрирован и отражает основные положения диссертации.

Публикация основных результатов диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в многочисленных публикациях в открытой печати, в том числе в журналах, рекомендованных ВАК.

Заключение. Диссертационная работа Травина А.В. является законченным научным исследованием, представляющим собой крупное обобщение материалов по термохронологии метаморфических и магматических комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса. Автором разработаны теоретические положения применения термохронологии к различным геологическим объектам и показаны результаты использования этого подхода в решении проблемы роста, эволюции континентальной коры и эксгумации ее глубинных горизонтов. Представленный в диссертации материал во многом проливает свет на широко дискутируемые вопросы длительности метаморфических событий и скорости эксгумации метаморфических комплексов. Практически для всех изученных в работе объектов однозначно показана возможность быстрого (меньше ошибок геохронологических методов) формирования метаморфических минеральных ассоциаций и быстрого (первые млн. лет) выведения этих пород к поверхности.

Диссертация Травина А.В. соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Травин Алексей Валентинович,

заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве официального на заседании Петрографической секции Ученого совета ИГЕМ РАН 26 апреля 2016 г. (протокол № 1-26-04-2016).

Председатель Петрографической секции
Ученого совета ИГЕМ РАН,
доктор геолого-минералогических наук,
академик
тел. (499)2308229; e-mail: yarm@igem.ru

В.В. Ярмолук

Главный научный сотрудник лаборатории
метаморфизма и метасоматоза ИГЕМ РАН,
доктор геолого-минералогических наук,
член-корреспондент РАН
тел. (499)2308298; e-mail: korik@igem.ru

С.П. Кориковский

Старший научный сотрудник лаборатории
редкометального магматизма ИГЕМ РАН,
кандидат геолого-минералогических наук
тел. (499)2308492; e-mail: amk@igem.ru

А.М. Козловский

119017 г. Москва, Старомонетный пер., 35. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН)

