

В диссертационный Совет Д 24.1195.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской революции Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, г. Москва

ОТЗЫВ официального оппонента

на докторскую диссертацию Буйкина Алексея Ивановича «Изотопная систематика благородных газов и азота в мантийных породах: влияние геодинамических обстановок», представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертация посвящена фундаментальной проблеме реконструкции источников и эволюции флюидной фазы мантийных пород, образованных в различных геодинамических обстановках. Работа соискателя является частью и развитием одновременно отечественных школ геохимии благородных газов, геохимии стабильных изотопов. Автору удалось успешно продемонстрировать владение ансамблем методов изучения изотопного состава благородных газов, водорода, углерода, азота. А.И. Буйкин продемонстрировал тонкое понимание особенностей поведения различных компонент, владение широким кругом литературных источников. Следует особо отметить предложенный Алексеем Ивановичем метод отбраковки радиогенно-нуклеогенной компоненты благородных газов с помощью ступенчатого дробления. На основе полученных данных им выявлены основные факторы, влияющие на формирование изотопной и элементной гетерогенности флюидной фазы мантийных магматических комплексов, соответствующих континентальной и океаническим обстановкам.

В 1 главе приведен краткий обзор истории изучения земной мантии и показана эволюция моделей ее строения на основе геофизических, геохимических данных. Затем достаточно подробно и обстоятельно охарактеризована изученность мантийных пород различных геодинамических обстановок с использованием геохимических, изотопно-геохимических исследований благородных газов, азота. Суммируя, автор отмечает, что одним из главных открытых вопросов остается проблема понимания процессов взаимодействия между основными резервуарами Земли: мантией, корой и атмосферой/гидросферой. Считаю, что, обзор следовало бы дополнить упоминанием о серии значимых исследований ^{186}Os - ^{187}Os систематики магматических пород Гавайских островов (Brandon et al., Science, V. 280, 1998; Brandon et al., Earth Planet. Sci. Lett., V. 174, 1999; Ireland et al., Geoch. Cosm. Acta, V 75, 2011), в которых, помимо рециклинга вещества океанической литосферы обсуждаются вероятные сценарии вещественного обмена между ядром и нижней мантией. Тогда, с добавлением еще одного резервуара, контекст рассмотрения полученных автором данных может быть расширен.

В главе 2 автором выполнено описание использованных методов и методик изотопно-геохимических исследований (I - He, Ne, Ar; II - N, He, CO₂; III - H₂O, CO₂), начиная с отбора материала и заканчивая масс-спектрометрическим измерением. Учитывая, что точность и достоверность аналитических измерений является основой полученных данных, построения различных концепций, моделей и, в конечном итоге, защищаемых положений, представляется, что описанию методических подробностей автором уделено недостаточно внимания. В частности, очень мало сказано о том, как, собственно, проводились измерения изотопного, элементного состава. Например, даже из приведенного описания работы масс-спектрометров комплекса "Finesse" при определении изотопного состава азота, аргона, CO₂ осталось не понятно, проводилось прямое накопление сигнала по каждой массе или измеренных изотопных отношений, либо измеренные интенсивности экстраполировались к какому-либо моменту времени (например, на момент напуска). К сожалению, не удалось найти эти подробности и в работах, на которые автор ссылается в данной главе диссертации.

Алексей Иванович описывает созданное им устройство для изотопного анализа микроколичеств воды, извлеченной из включений. Кажется логичным анализировать генезис воды как на основе изотопного состава водорода, так и кислорода, пусть и определенных в разных экспериментах (по разным навескам), если это сложно сделать по одной навеске. К сожалению, в диссертации о такой опции ничего не сказано.

В главе 3 автор рассматривает характер выделения флюидной фазы из образцов в процессе их механического измельчения в вакууме. Обратив внимание на изменение закономерностей изотопного, элементного состава благородных газов при достижении достаточно высоких степеней дробления, Алексей Иванович связывает его с добавлением образовавшихся *in situ* радиогенных/нуклеогенных компонентов. Им предложена вполне обоснованная методика, позволяющая отделить в процессе анализа захваченные и образованные *in situ* в кристаллической решетке радиогенные/нуклеогенные компоненты благородных газов. В выводах к главе автор утверждает, что «механизм выделения образованных *in situ* компонентов благородных газов при измельчении не до конца ясен.» В этом он не совсем прав. По крайней мере, он вполне мог бы в своих представлениях опереться на предложенную Кэрролом с соавторами (Carrol, Nucl. Safety, 1965, V. 7, № 1) и развиваемую отечественными исследователями (Гельд и др., Водород и несовершенства структуры металла. М.: Металлургия, 1979; Пушкарев, Актуальные проблемы К-Аг геохронометрии. Апатиты: Кол. Фил. АН СССР, 1977; Пушкарев и др., 1983 В кн. Масс-спектрометрия и изотопная геология, с. 109-124.; и другие) модель дефектов-ловушек, которая применима при описании процесса миграции в кристаллической решетке таких примесных атомов, как гелий, водород, азот, углерод, аргон. Если известны кинетические параметры миграции атома, размеры и концентрация объемных дефектов, то модель дефектов-ловушек вполне может быть использована для количественной оценки доли атомов, попавших в дефекты при наложенном термическом воздействии.

4 и 5 главы диссертации посвящены изучению с использованием метода ступенчатого дробления изотопного и элементного состава флюидной фазы карбонатитов и ультраосновных пород комплекса Себлявр (Кольская щелочная провинция) и, соответственно, Гулинского комплекса (Полярная Сибирь). Для небольшого по размерам (площадь около 23 км²) комплекса Себлявр, породы которого характеризуются высокими

концентрациями захваченных мантийных газов, получены по гелию, неону, аргону согласующиеся между собой изотопные метки с признаками плюмовой компоненты. В то же время для крупнейшего в мире щелочно-ультраосновного интрузивно-вулканического Гулинского комплекса, характеризующегося несколькими этапами формирования (шесть интрузивных стадий), результаты изучения флюидной фазы не столь однозначны. Во-первых, от ранних к поздним карбонатитам значительно возрастают измеренные концентрации He, Ne, Ar, CO₂, при этом для образцов карбонатитов поздних этапов отмечается большой вклад атмосферной компоненты. Во-вторых, если изотопный состав He и Ne указывает на субконтинентальную литосферную мантию в качестве основного источника флюидов, то из Ne-Ar систематики следует отношение аргона, аналогичное оценке для Кольского мантийного плюма. В качестве наиболее правдоподобного объяснения совокупности полученных данных А.И. Буйкин предлагает считать, что первичным источником флюидной фазы карбонатитов Гулинского массива была субконтинентальная литосферная мантия, а пониженная относительно литосферной мантии величина $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ связана с попаданием в мантийный источник с нагретыми палеометеорными водами атмосферного аргона. Возможно и другое объяснение. На основе данных трекового датирования апатита из фоскоритов Гулинского массива (~ 218 млн лет) предполагается (Мышенкова и др., Геодинамика&Тектонофизика, Т. 11, № 1, 2020), что после своего формирования массив испытал захоронение под вулканогенно-осадочным чехлом мощностью не менее 2-3 км. Последующая денудация, остывание и вывод пород в приповерхностные условия произошли около 218 млн лет назад. Компьютерное моделирование процесса остывания Гулинского массива показывает, что после быстрого (менее 1 млн лет) остывания до температуры вмещающих пород, массив в течении 30 млн лет должен был находиться при температуре 150-200 °С. Это значительно выше температуры закрытия (U-Th)/Ne системы в кальците (Copeland&All, GCA, V 71, 2007), оцениваемой порядка 70 °С (для скорости охлаждения 10 °С/млн лет). Образующиеся за это время в кристаллической решетке атомы радиогенного ^4He должны были покидать ее по механизму объемной диффузии, но при этом часть из них неизбежно, в соответствии с моделью «дефектов-ловушек» должна была попадать в объемные дефекты структуры, что приводило к «разбавлению» гелия, захваченного дефектами в момент формирования минерала. Отделить вклад этой *in situ* компоненты с помощью методики ступенчатого дробления невозможно. При таком сценарии могло произойти «избирательное заражение» первичной изотопной метки как гелия, так и, вероятно, неона. В то же время, температура закрытия изотопной системы аргона для всех известных минералов – геохронометров значительно выше 200°С. Таким образом, первичная изотопная метка магматических пород Гулинского комплекса могла быть искажена, а при оценке источников флюидной фазы большое значение должна иметь постмагматическая термическая история исследуемых комплексов.

Глава 6 посвящена реконструкции источников и условий формирования флюидной фазы базальтов Срединно-Атлантического хребта (район САХ 20°-22°30' с.ш.) и толеитов тройного сочленения Буве. На основе комплексных исследований элементного, изотопного состава благородных газов, азота, углерода (CO₂) автором сделан вывод о сложной геохимической эволюции флюидной фазы и разных геохимических характеристиках сегментов САХ, Шписс и ЮЗИХ. При этом, по данным гелий-неон-аргоновой систематики,

для образцов сегмента ЮЗИХ и хребта Шписс фиксируется сильное взаимодействие с нефракционированным воздушным компонентом благородных газов и компонентом глини. Для объяснения последнего Алексей Иванович привлекает сценарий попадания осколков древней литосферы или океанической коры в магматическую камеру. Такой вариант требует независимого подтверждения с использованием данных по другим изотопным системам, как, например, в случае базальтов архипелага Самоа (Jackson et al., Nature, V. 448, 2007). Но, судя по данным Sr-Nd-Pb изотопной систематики для толеитовых магм хр. Шписс и в сегменте Буве (Сущевская и др., Геохимия, № 1, 2003), интерпретируемым авторами, как участие обогащенной мантии, такой степени коровой контаминации, обеспечившей подавляющее участие атмосферной компоненты благородных газов, не наблюдается.

В главе 7 рассматривается He, Ne, Ar, N₂, CO₂ систематика мантийных ксенолитов архипелага Фернандо-Де-Норонья. При анализе закономерностей изменения изотопных и элементных отношений газов по мере увеличения степени дробления образцов, Алексей Иванович предполагает, что газовые компоненты включений были «захвачены из расплава». Здесь следует уточнить, из какого, поскольку формирование мантийных ксенолитов могло происходить задолго до их транспортировки к поверхности в равновесии с совсем другим расплавом, принципиально отличающимся от того, в котором происходила транспортировка. С учетом сказанного должна быть скорректирована и интерпретация наблюдаемых закономерностей. Практически для всех изученных А.И. Буйкиным пироксенов по мере увеличения степени дробления наблюдается увеличение доли радиогенного (⁴He), нуклеогенного (Ne) компонента, содержащегося в кристаллической решетке. Если исходить из модели «дефектов-ловушек», то во время транспортировки ксенолита в расплаве по механизму объемной диффузии некоторая доля этих компонентов неизбежно должна была попасть в объемные дефекты. Как говорилось ранее, скорректировать ее вклад с помощью методики ступенчатого дробления невозможно. Поэтому полученные Алексеем Ивановичем оценки изотопного состава мантийного гелия, неона являются «оценкой снизу». Это замечание касается всех данных, полученных для мантийных ксенолитов, поднятых на поверхность в расплаве.

Глава 8 посвящена вполне убедительному обобщению возможностей азот-аргоновой систематики при исследованиях образцов мантийных пород, позволяющих дифференцировать проявление процессов субдукции от приповерхностного взаимодействия между компонентами мантии и гидро- (атмо-) сферы.

Заключительный синтез результатов позволил А.И. Буйкину сформулировать основные положения работы, касающиеся предложенного метода отбраковки радиогенно-нуклеогенной компоненты благородных газов, реконструированных характеристик флюидной фазы для мантийных магматических комплексов континентальной и океанических обстановок.

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

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.6.4 – «Минералогия. Кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», а именно пунктам 13, 14, 15, 19.

В результате выполненных автором исследований разработаны оригинальные методики и методические подходы при изучении изотопного состава благородных газов, водорода, углерода, азота, получены новые экспериментальные данные, выполнены реконструкции источников, условий и динамики формирования флюидной фазы для мантийных магматических комплексов, соответствующих континентальной и океаническим обстановкам. Совокупность полученных А.И. Буйкиным результатов можно квалифицировать как крупное научное достижение фундаментального характера.

Представленная работа отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям. Поддерживаю присуждение А.И. Буйкину искомой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертационная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в п. 9-14 Постановления Правительства РФ «О порядке присуждения ученых степеней» от 24.09.2013 № 842 в действующей редакции (вместе с «Положением о присуждении ученых степеней»), а ее автор Буйкин Алексей Иванович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия. Кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Оппонент Травин Алексей Валентинович

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Сведения об оппоненте:
по персоналу



22 мая 2026 г.

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ).

Почтовый адрес: адрес: Россия, 630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20.

Телефон 8 383 373-05-26 доб. 343. E-mail: travin@igm.nsc.ru

Должность: профессор

Ученая степень: доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Я, Травин Алексей Валентинович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета и их дальнейшую обработку, в том числе на размещение сведений на сайте ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

Сведения об официальном оппоненте
по диссертации Буйкина Алексея Ивановича
«Изотопная систематика благородных газов и азота в мантийных породах: влияние
геодинамических обстановок»
по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические
методы поисков полезных ископаемых
на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук

Фамилия, имя, отчество	Травин Алексей Валентинович
Гражданство	Гражданин Российской Федерации
Ученая степень	Доктор геолого-минералогических наук, 25.00.04 – Петрология, вулканология
Ученое звание	
Основное место работы:	
Почтовый индекс, адрес, телефон, адрес электронной почты, адрес официального сайта организации	630073, г. Новосибирск, пр-т К.Маркса, 20; (383) 346-08-43; rector@nstu.ru
Полное наименование организации в соответствии с уставом	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ)
Наименование подразделения	кафедра геофизических систем
Должность	профессор
Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	
1.	Yudin D. S. Murzintsev N. G., Travin A. V., Alifirova T.A., Zhimulev E.I., Novikova S. A. Studying the Stability of the K/Ar Isotopic System of Phlogopites in Conditions of High T, P: ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar Dating, Laboratory Experiment, Numerical Simulation // Minerals. 2021. V. 11. № 3. 26 p.
2.	И. Д. Соболев, А. С. Новикова, И. В. Викентьев, В. С. Шешуков, А. С. Дубенский, А. В. Травин , Д. А. Варламов, Н. С. Бортников Два этапа сборки суперконтинента Пангея на Полярном Урале: первые U/Pb (LA-ICP-MS) и ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar-данные о возрасте яркеуского комплекса // Доклады Российской академии наук. 2023. Т. 508. № 2. С. 164–172. – DOI: 10.31857/S2686739722602423.
3.	Голубева И. И. Новые возрастные данные Гердизского массива (Полярный Урал) / И. И. Голубева, А. С. Шуйский, А. В. Травин , В. Б. Хубанов // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 92. – С. 50–63. – DOI: 10.52349/0869-7892_2022_92_50-63.
4.	Buslov M.M., Kulikova A.V., Sklyarov E.V., Travin A.V. MESOZOIC TECTONOTHERMAL EVOLUTION OF THE ZAGAN METAMORPHIC CORE COMPLEX IN WESTERN TRANSBAIKALIA: 40AR/39AR AND FTA DATING Lithosphere. 2024. Т. 2024. № Special 14.
5.	В. Ю. Фридовский, А. Е. Верниковская, К. Ю. Яковлева, Н. В. Родионов, А. В. Травин , Н. Ю. Матушкин, П. И. Кадильников Геодинамические условия и возраст образования гранитоидов комплекса малых интрузий западной части Яно-Колымского золотоносного пояса (северо-восток Азии) // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 4. С. 579–602. DOI: 10.15372/GiG2021193.
6.	А. Ю. Кадашникова, А. А. Сорокин, А. В. Пономарчук, А. В. Травин , В. А. Пономарчук Возраст золотого оруденения месторождения Унгличкан (Дальний

	Восток России): результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронологических исследований // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 2. С. 219–229. DOI: 10.15372/GiG2020199.
7.	Yakubovich O., Kuttyrev A., Sidorov E., Travin A. ^{190}Pt - ^4He dating of platinum mineralization in Ural-Alaskan-type complexes in the Kamchatka region: evidence for remobilization of platinum-group elements // Mineralium Deposita. – 2022. – V. 57. – P. 743-758.
8.	О. В. Удоратина, А. М. Шмакова, А. В. Травин , А. С. Шуйский Ультраосновные породы рудных полей Среднего Тимана: петрогеохимические и геохронологические данные // Известия Коми научного центра УРО РАН. 2022. № 2. С. 26–42. DOI: 10.19110/1994-5655-2023-2-26-42.
9.	М. М. Буслов, А. В. Травин, Ю. А. Бишаев, Е. В. Склиаров Тектонотермальная эволюция Заганского комплекса метаморфического ядра Забайкалья: результат постколлизийного разрушения монголо-охотского орогена в мелу–палеоцене // Геодинамика и тектонофизика. 2023. Т. 14. № 4. Номер статьи 2. 12 с.
10.	А. В. Травин , М. М. Буслов, Ю. А. Бишаев, А. А. Цыганков, Е. И. Михеев Тектонотермическая эволюция Забайкалья в позднем палеозое–кайнозое: термохронология Ангаро-Витимского гранитоидного батолита // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64, № 9. – С. 1303–1317.
11.	Travin, A. , Murzintsev, N., Kruk, N. Thermochronology of the Laojunshan–Song Chai Granite Gneiss Massif (North Vietnam, South China). Minerals 2024, 14, 251. https://doi.org/10.3390/min14030251
12.	Chugaev A.V., Anikina E.Yu., Bortnikov N.S., Aristov V.V., Travin A.V. , Bondar D.B., Rassokhin I.V., Oleynikova T.I. A MANTLE–PLUME MODEL FOR THE FORMATION OF THE ZUN-KHOLBA OROGENIC GOLD DEPOSIT (EASTERN SAYAN, RUSSIA): MINERALOGICAL RESULTS, RB–SR AND ^{40}Ar – ^{39}Ar GEOCHRONOLOGICAL AND PB–PB ISOTOPE STUDIES Geology of Ore Deposits. 2024. Т. 66. № 3. С. 276-303.
13.	Travin, A. ; Buslov, M.; Murzintsev, N.; Korobkin, V.; Kotler, P.; Khromykh, S.V.; Zindobriy, V.D. Thermochronology of the Kalba–Narym Batholith and the Irtysh Shear Zone (Altai Accretion–Collision System): Geodynamic Implications. Minerals 2025, 15, 243. https://doi.org/10.3390/min15030243
14.	Ryabov V.V., Ashchepkov I.V., Travin A.V. , Ponomarchuk V.A., Karmanov N.S., Roberts N.M.W. Late Permian–Early Triassic Kamensky dyke belt, NW margin of Siberian platform: Two stages of the Siberian superplume event Geosystems and Geoenvironment, 2025, DOI: 10.1016/j.geogeo.2025.100374.
15.	Ashchepkov I.V., Babushkina S.A., Kostrovitsky S.I., Oleinikov O.B., Travin A.V. , Yudin D.S., Ivanov A.S., Medvedev N.S. Mantle amphiboles from the lithospheric keel of the Siberian Craton: Reconstructions using new thermobarometry and geochemistry Geosystems and Geoenvironment, 2025, V. 4: 100427.

Официальный оппонент

А. В. Травин



[Handwritten signature]
22.05.26

ИССЬ ЗАВЕ
ущий специали
по персоналу