



УТВЕРЖДАЮ:
ВРИО директора ГЕОХИ РАН
д.х.н., чл.-корр. РАН
Р.Х. Хамизов

«5» ноября 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) о диссертации **Алексея Ивановича БУЙКИНА** «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 «ИЗОТОПНАЯ СИСТЕМАТИКА БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ И АЗОТА В МАНТИЙНЫХ ПОРОДАХ: ВЛИЯНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК» выполнена в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ГЕОХИ РАН во время работы в ГЕОХИ РАН. В период подготовки диссертации соискатель работал в ГЕОХИ РАН в должности ведущего научного сотрудника.

Буйкин Алексей Иванович защитил диссертацию на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук в 2005 году (Диплом кандидата наук КТ №154428 выдан 10 июня 2005 года по решению диссертационного совета ГЕОХИ РАН от 30 марта 2005 года №2).

По результатам рассмотрения вышеозначенной диссертации принято следующее заключение.

Актуальность темы исследования. Проблема изотопной гетерогенности мантии Земли носит фундаментальный характер. Выявление ее масштабов и природы даст ключ к лучшему пониманию структуры и эволюции этого глобального резервуара. Благородные газы, обладая такими свойствами, как химическая инертность, низкая распространенность и высокая степень летучести, служат чувствительными индикаторами процессов, происходящих в земных недрах. Изучение благородных газов в мантийных породах и магмах является одним из основных инструментов для понимания химической гетерогенности мантии Земли и образования атмосферы. Способность благородных газов характеризовать мантийные домены с разной историей дегазации сделала их важнейшим инструментом исследования мантийной геодинамики (напр., Zindler and Hart, 1986; Porcelli and Wasserburg 1995, Tolstikhin et al. 2006; Smye et al., 2017; Day et al., 2022 и др.). Поэтому, точная оценка изотопных меток благородных газов в разных мантийных резервуарах является важной геохимической задачей, решение которой позволит количественно описывать процессы взаимодействия мантия-кора-атмосфера. Одной из ключевых проблем в мантийной геохимии благородных газов является постоянное присутствие в мантийных породах и минералах атмосферных благородных газов, которые искажают первоначальную изотопную метку мантийного источника. Механизмы проникновения атмосферного компонента в мантийные образцы на сегодняшний день до конца не выявлены и в большой мере остаются дискуссионными. Их выявление является необходимым для понимания процессов взаимодействия между основными резервуарами Земли: мантией, корой и атмосферой/гидросферой и построения геодинамических моделей. Расшифровка информации, «закодированной» в данных по элементному и изотопному составу благородных газов должна проводиться с учётом возможного искажения первоначальных меток за счёт радиоактивного распада U, Th и K. Необходимость решения означенных научных задач определяет актуальность представленных в диссертации исследований.

Конкретное личное участие соискателя. Постановка научной проблемы и задач исследования, подбор фактического материала из имеющихся коллекций, изотопно-геохимические исследования (в ГЕОХИ РАН – изотопный анализ углерода и водорода, в

Институте наук о Земле Университета города Хайдельберг, Германия – изотопный анализ и элементные отношения гелия, неона и аргона, в Открытом Университете, Милтон Кинс, Соединенное Королевство – изотопный анализ и отношения Ar, N₂, CO₂, He в одной навеске образца), а также обработка и интерпретация данных с последующим написанием научных статей выполнялись лично автором.

Научная новизна. Предложен и осуществлён новый подход к решению проблемы разделения мантийных компонентов благородных газов от контаминирующих и *in situ* образованных в образцах, что позволяет получать надежные изотопные метки и более точно характеризовать разные мантийные резервуары – источники продуктов мантийного магматизма, а это является необходимым условием для оценки масштабов гетерогенности мантии Земли. Подход заключается в применении взаимосвязанного комплекса изотопно-геохимических инструментов для выявления источников и механизмов контаминации благородных газов и азота в мантийных породах атмосферными и органогенными компонентами и для определения и учета вклада *in situ* образованных компонентов благородных газов.

Применение разработанных методов и подходов при изучении мантийных объектов из разных геодинамических обстановок позволило **доказать**, что в ходе ступенчатого дробления выделяются накопленные за геологическое время *in situ* изотопы благородных газов, даже небольшая доля которых может существенно искажать составы газов, изначально захваченных во включения, и приводить к неверной интерпретации полученных аналитических данных. **Предложен метод отбраковки** радиогенно-нуклеогенной компоненты благородных газов, накопленных за время существования породы. С помощью этого метода получены точные изотопные метки гелия, неона и аргона, доказывающие плюмовый тип мантийного источника для щелочно-ультраосновного с карбонатитами комплекса Себльявр (Кольская щелочная провинция). В то же время, для карбонатитов Гулинского комплекса (Маймеча-Котуйская провинция, Полярная Сибирь) **впервые выявлена** субконтинентальная природа их флюидной фазы. **Впервые сформулированы закономерности** распределения элементных и изотопных составов благородных газов для всех трех сегментов Тройного сочленения Буве (Южная Атлантика). **Впервые установлен** плюмовый источник горячей точки Фернандо-де-Норонья, близкий по изотопным характеристикам благородных газов с плюмовыми источниками Кергелен и Тройного сочленения Буве. На основании N-Ar изотопной систематики мантийных пород **предложен новый** независимый критерий присутствия субдукционного материала в продуктах мантийного магматизма, заключающийся в высоких (мантийных) значениях отношений $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ при положительных значениях $\delta^{15}\text{N}$, характерных для азота осадочных пород. **Впервые** показано влияние высокосолёных и высокотемпературных гидротермальных рассолов на вариации изотопного состава благородных газов и азота в продуктах базальтового магматизма Срединно-океанических хребтов (СОХ). Выдвинуто предположение, что слабое (мелкомасштабное, т.е. незаметное для подавляющего большинства других геохимических систем) взаимодействие высокосолёных гидротермальных флюидов (циркулирующих в океанической коре до больших глубин) с мантийными расплавами может быть универсальным механизмом формирования изотопной гетерогенности благородных газов и азота в продуктах мантийного магматизма СОХ. Учет этого механизма приведет и к переоценке в сторону понижения реперных содержаний галогенов (прежде всего, хлора) и воды в неконтаминированном мантийном расплаве.

Таким образом, в ходе исследований **установлено**, что существенное влияние на формирование изотопной систематики благородных газов и азота и их элементных соотношений в мантийных объектах оказывает *собственно* геодинамическая обстановка, в которой эти объекты образуются. Ключевыми факторами такого влияния оказываются дегазация (степень дегазации) расплавов, постмагматические потери (в первую очередь, гелия), смешение газов из разных источников и разнообразные механизмы контаминации атмосферным/органогенным компонентом. Для каждого конкретного объекта доминирующим может быть тот или иной фактор (совокупность факторов). Учет этих обстоятельств при определении природы вариаций элементного и изотопного состава благородных газов (и азота) и установлении точных изотопных меток в мантийных резервуарах расширяет и углубляет наше понимание строения и эволюции

мантии Земли и является необходимым условием для разработки адекватных геодинамических моделей.

Практическая значимость работы. Полученные результаты необходимо учитывать при разработке моделей строения и эволюции мантии, взаимодействия разных мантийных резервуаров между собой и с атмосферой/гидросферой/корой. Они также будут полезны для моделирования процессов, проходивших на до- и аккреционной стадии формирования Земли. Разработанный метод ступенчатого дробления для изучения мантийных процессов и сопутствующих им комплексных взаимодействий между породами и флюидами и/или расплавами имеет более широкое применение, чем это сделано в настоящей работе, и может быть использован для изучения газовых включений в других объектах. Предложенный и апробированный мульти-изотопный подход может быть использован как для изучения углеводородов во включениях в мантийных породах и минералах, так и для выявления источников рудогенерирующих флюидов. Кроме того, разработанные аппаратура, методы и подходы были успешно адаптированы и применены для исследования внеземного вещества (метеориты разных групп, лунный грунт).

Научная специальность, которой соответствует диссертация. По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 1.6.4. – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Пункты, которым соответствует работа:

13

14

19

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени. Все основные научные выводы, которые находятся в основе защищаемых положений, отражены в материалах опубликованных автором статей и тезисов научных докладов. По теме диссертации автором опубликовано 91 печатная работа, среди которых 63 материала конференций и тезисов докладов, 1 глава в монографии и 28 статей в ведущих профильных журналах, входящих в перечень ВАК РФ (K1-K2) и индексируемых базами Scopus и Web of Science, а также получено 2 патента.

Статьи:

1. **Buikin A.I.**, Tieloff M., Hopp J., Althaus T., Korochantseva E.V., Schwarz W. and Altherr R. (2005) Noble gas isotopes suggest deep mantle plume source of late Cenozoic mafic alkaline volcanism in Europe. *Earth and Planetary Science Letters* **230**, 143-162. DOI: 10.1016/j.epsl.2004.11.001

2. **Буйкин А.И.**, Трилофф М., Рябчиков И.Д. (2005) ^{40}Ar - ^{39}Ar датирование флогопитового вебстерита: свидетельство в пользу древнего метасоматоза в субконтинентальной литосферной мантии под Аравийской плитой? *Доклады Академии Наук*, т. **400**, №1, стр. 64-68.

3. Tieloff M., Falter M., **Buikin A.**, Korochantseva E., Jessberger E. and Altherr R. (2005) Argon isotope fractionation induced by stepwise heating. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V. 69, № 5, 1253-1264

4. Hopp J., Tieloff M., **Buikin A.I.**, Korochantseva E.V., Schwarz W., Althaus T. and Altherr R. (2007) Heterogeneous mantle argon isotope composition in the subcontinental lithospheric mantle beneath the Red Sea region. *Chem. Geol.* **240**, 36-53.

5. **Буйкин А.И.**, Когарко Л.Н., Корочанцева Е.В., Хопп Й., Трилофф М. (2010) ^{40}Ar - ^{39}Ar датирование вулканических пород архипелага Фернандо-де-Норонья. *Геохимия*. Т. 48, №10. С. 1101-1104.

6. **Buikin A. I.**, Tieloff M., Korochantseva E. V., Hopp J., Kaliwoda M., Meyer H.-P., Altherr R. (2010) Distribution of Mantle and Atmospheric Argon in Mantle Xenoliths from the Western Arabian Peninsula: Constraints on Timing and Composition of Metasomatizing Agents in the Lithospheric Mantle. *J. Petrol.* **51**, 2547-2570. <https://doi.org/10.1093/petrology/egq073> (

7. **Буйкин А.И.**, Верховский А.Б., Гриненко В.А., Силантьев С.А., Севастьянов В.С., Невинный Ю.А., Смирнова Е.П. (2013) Изотопные и элементные отношения C, N, He, Ar во флюидных включениях в закалочных стеклах MORB по данным ступенчатого дробления. *Геохимия*. Т., №4. С. 378-384.

8. Пиллинджер К.Т., Гринвуд Р.С., Джонсон Д., Гибсон Дж.М., Тиндл А.Г., Верховский А.Б., Буйкин А.И., Франки И.А., Грэди М.М. (2013) Геохимия легких элементов метеорита Челябинск. *Геохимия* 51(7), 599-608.

9. Буйкин А.И., Соловова И.П., Верховский А.Б., Когарко Л.Н., Аверин А.А. (2014) PVT-параметры флюидных включений и изотопный состав С, О, N, Ar в ксенолите гранатового лерцолита из района Оазиса Джетти, Восточная Антарктида. *Геохимия*. 10, 867-884. DOI: [10.7868/S0016752514100033](https://doi.org/10.7868/S0016752514100033)

10. Буйкин А.И., Верховский А.Б., Сорохтина Н.В., Когарко Л.Н. (2014) Состав и источники летучих и благородных газов во флюидных включениях в пироксенитах и карбонатитах Себляврского массива, Кольский полуостров // *Петрология*. №5. Стр. 546-560.

11. Буйкин А.И., Камалеева А.И., Мигдисова Н.А. (2016) Информативность и перспективы применения метода ступенчатого дробления при изучении флюидной фазы пород и минералов // *Петрология*. Т. 24. №3. С. 325-336. DOI: [10.7868/S086959031603002X](https://doi.org/10.7868/S086959031603002X)

12. Буйкин А.И., О.В. Кузнецова, В.С. Севастьянов, Ю.А. Невинный (2016) Способ ввода микроколичеств воды из флюидных включений в масс-спектрометр для измерения изотопного состава водорода и кислорода // *Геохимия*. № 2. С. 220-223. DOI: [10.7868/S0016752516020035](https://doi.org/10.7868/S0016752516020035)

13. Буйкин А.И., А.Б. Верховский, Л.Н. Когарко, В.А. Гриненко, О.В. Кузнецова (2016) Эволюция флюидной фазы при формировании карбонатитов Гулинского массива по изотопным данным (С, N, Ar) // *Доклады Академии Наук*. Т. 466. №4. С. 459-461. DOI: [10.7868/S0869565216040198](https://doi.org/10.7868/S0869565216040198)

14. Buikin A.I., Nevinny Yu. A., Kamaleeva A. I., Sevast'yanov V. S., and Kuznetsova O. V. (2017) Equipment and Newly Developed Methodological Approaches for Isotopic-Geochemical Studying Fluid Phases in Rocks and Minerals. *Geochemistry International*, Vol. 55, No. 1, pp. 1-8. DOI: [10.1134/S0016702916130024](https://doi.org/10.1134/S0016702916130024)

15. Буйкин А.И., Когарко Л.Н., Хопп Й., Трилофф М. (2017) Данные по изотопному составу лёгких благородных газов в карбонатитах Гулинского массива выявляют субконтинентальную литосферную мантию, как первичный источник флюидов. *Геохимия*. №5. С. 445-452. DOI: [10.7868/S0016752517050053](https://doi.org/10.7868/S0016752517050053)

16. Буйкин А.И., Мигдисова Н.А., Норр J., Корочанцева Е.В., Trieloff M. (2017) He, Ne, Ar в базальтовых стеклах из разных сегментов района Тройного сочленения Буве по данным ступенчатого дробления. *Геохимия*. № 11. с. 991-1002. DOI: [10.7868/S0016752517110036](https://doi.org/10.7868/S0016752517110036)

17. Буйкин А.И., Камалеева А.И., Сорохтина Н.В. (2018) К вопросу об эффективности разделения захваченных и образованных *in situ* компонентов благородных газов при дроблении образцов в вакууме. *Геохимия* 6, 586-593. DOI: [10.7868/S0016752518060079](https://doi.org/10.7868/S0016752518060079)

18. Buikin A.I., Verchovsky A.B., Migdisova N.A. (2018) N-C-Ar-He isotope systematic of the chilled glasses from Bouvet triple junction. *Geochem. Int.* 13, 1368-1383. DOI: [10.1134/S0016702918130037](https://doi.org/10.1134/S0016702918130037) #8439

19. Buikin A.I., Kuznetsova O.V., Velivetskaya T.A., Sevastyanov V.S., Ignatiev A.V. (2020) An isotope ratio mass spectrometry-based method for hydrogen isotopic analysis in sub-microliter volumes of water: Application for multi-isotope investigations of gases extracted from fluid inclusions. *Rapid Commun Mass Spectrom.* 34:e8923. <https://doi.org/10.1002/rcm.8923>

20. Буйкин А.И., Верховский А.Б., Асавин А.М., Когарко Л.Н. (2020) Изотопный состав Ar и N и элементные отношения Ar, N, He, C во флюидных включениях в ультраосновных породах Гулинского массива (Полярная Сибирь) *Геохимия*, 11, 1199-1207. DOI: [10.31857/S0016752520110035](https://doi.org/10.31857/S0016752520110035)

21. Lorenz C.A., Buikin A.I., Shiryayev A.A., Kuznetsova O.V. (2021) Composition and origin of the volatile components released from the Pesyanoe aubrite by stepwise crushing and heating, *Geochemistry*. V. 81. Issue 1, April 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125686>

22. Буйкин А.И., Норр J., Верховский А.Б., Когарко Л.Н., Trieloff M. (2021) Источники и эволюция флюидной фазы карбонатитов Гулинского массива (Зап. Сибирь): обобщение данных по изотопному составу He, Ne, Ar, N₂, CO₂ и H₂O, полученных методом ступенчатого дробления. *Петрология*. Т. 29. № 6. С. 636-655. DOI: [10.31857/S0869590321060030](https://doi.org/10.31857/S0869590321060030)

23. Buikin A.I., Silantyev S.A., Verchovsky A.B. (2022) N-Ar-He-CO₂ Systematics Combined with

H₂O, Cl, K Abundances in MORB Glasses Demonstrate Interaction of Magmatic and Hydrothermal Systems: a Case for MAR at 16°07'–17°11' N. *Geochemistry International*. 60(11). 1068–1086. <https://doi.org/10.1134/S0016702922110027>

24. **Buikin A.I.**, Hopp J., Kogarko L.N., Verchovsky A.B. and Tieloff M. (2022) He-Ne-Ar-N₂-CO₂ systematics of Fernando de Noronha mantle xenoliths: Confirmation of Mantle Plume Origin. *Geochemistry International*. 60(13). 1378–1390. <https://doi.org/10.1134/S0016702922130055>

25. Силантьев С.А., **Буйкин А.И.**, Цховребова А.Р., Шабыкова В.В., Бельтнев В.Е. (2023) Вариации состава закалочных стекол MORB Срединно-Атлантического хребта, 12°–31° с.ш.: отражение эволюции состава родительских расплавов и влияния гидротермального компонента. *Петрология*. Т. 31. № 5. С. 463–481. DOI: 10.31857/S0869590323050059 (Q3)

26. Цховребова А.Р., Шабыкова В.В., Силантьев С.А., **Буйкин А.И.** (2023) Особенности изотопного состава стронция и неодима в закалочных стеклах базальтов Срединно-Атлантического хребта, 12°–31° с.ш. *Геохимия*, 2023, том 68, № 12, с. 1241–1252 DOI: 10.31857/S0016752523120051

27. Силантьев С.А., **Буйкин А.И.**, А. Гуренко А., Чугаев А.В., Шабыкова В.В., Цховребова А.Р., Бельтнев В.Е., Бич А.С. (2024) Геохимическая природа базальтов рифтовой долины САХ на 20°31' с.ш.: условия образования аномального вулканического центра Пюи-де-Фоль в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта. *Геохимия*. 11, 962–974. DOI: 10.31857/S0016752524110017 (Q4)

28. **Buikin A.I.**, Verchovsky A.B., Hopp J., Lorenz C.A., Korochantseva E.V., Tieloff M., Ott U. (2024) Noble gases, carbon and nitrogen isotopes in different lithologies of Pesyanoe: irradiation history and impact processes on the aubrite parent body. *Geochemistry International*. 12, 1291–1321. <https://doi.org/10.1134/S0016702924700617> (Q4)

Глава в монографии:

Буйкин А.И. Методы выделения в изотопной геохимии благородных газов // *В Изотопная масс-спектрометрия легких газообразующих элементов. Под общей редакцией д-на Севастьянова В.С.* Москва: Физматлит. 2011. С. 305. // **Buikin A.I. Isolation methods in isotope geochemistry of noble gases in Isotope Ratio Mass Spectrometry of Light Gas-Forming Elements.** Aug 2014, 205 -212.

ПАТЕНТЫ

Патент на изобретение №2449270 от 27.04.2012 "Установка для пробоподготовки газов из флюидных включений в породах и минералах. Авторы: **Буйкин А.И.**, Невинный Ю.А. (приоритет изобретения 07.12.2010).

Патент на полезную модель №147559 от 19.08.2014 "Устройство ввода газов и их смесей в масс-спектрометр". Авторы: **Буйкин А.И.**, Невинный Ю.А. (приоритет изобретения 03.06.2014 г.).

Результаты исследований по теме диссертации были представлены на международных и общероссийских научных конференциях в виде устных и стендовых докладов, в частности, Гольдшмидтовских конференциях, на Российских конференциях по изотопной геохронологии, на Симпозиумах по геохимии изотопов, на конференциях «Физико-химические и петрографические исследования в науках о Земле», «Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма», на «Ежегодном семинаре по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии» и опубликованы в 63 тезисах и сборниках работ. По теме диссертации опубликовано 28 статей в рецензируемых российских (22) и зарубежных (6) журналах, входящих в список ВАК, и глава в монографии. Получено 2 патента (патент на изобретение №2449270 от 27.04.2012 и патент на полезную модель №147559 от 19.08.2014). Исследования по теме диссертации выполнялись, в том числе, в рамках проектов РФФИ (19-05-00681; №16-05-00974; №13-05-01009; №09-05-00678), РНФ (№22-27-00815; № 15-17-30019), а также гранта Минобрнауки (№ 13.1902.21.0018) и Гранта Федерального агентства по науке и инновациям ГК № 02.740.11.0726 от 05.04.2010.

Диссертация проверена в системе антиплагиат. В диссертации соблюдены ссылки на авторов и источники заимствования материала.

Диссертация вносит вклад в решение фундаментальной проблемы изотопной гетерогенности мантии Земли и в понимание процессов, эту гетерогенность формирующих.

Постановили:

Диссертация Алексея Ивановича БУЙКИНА рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Заключение принято на заседании расширенного семинара лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ГЕОХИ РАН 29 октября 2025 года. Присутствовало на заседании 67 человек, из них докторов наук 24 человека. Результаты голосования: «за» - единогласно. Протокол № 1 от 29 октября 2025 года.

Председатель семинара,
Академик



Л.Н. Когарко

Секретарь семинара, к.х.н., с.н.с.
лаб. изотопной геохимии и
геохронологии



М.О. Аносова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН).

119991, г. Москва, ул. Косыгина, д.19. Телефон: + 7 (499) 137-14-84. Факс: + 7 (495) 938-20-54
Электронная почта: director@geokhi.ru. Сайт: www.geokhi.ru.