

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Буйкина Алексея Ивановича

на тему «ИЗОТОПНАЯ СИСТЕМАТИКА БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ И АЗОТА В МАНТИЙНЫХ ПОРОДАХ: ВЛИЯНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

Целью работы было изучение изотопных неоднородностей инертных газов и азота в мантийных флюидных системах, связанных с различными геодинамическими обстановками.

Данное исследование, прежде всего, имеет важное фундаментально-научное значение (актуальность), поскольку развивает представления о структуре и эволюции изотопных характеристик мантийного резервуара в истории Земли. Эти исследования затрагивают также проблемы формирования и эволюции нашей планеты, сохранения в мантии Земли доменов с различными изотопными характеристиками благородных газов, различных механизмов дегазации мантийных расплавов и, в конечном итоге, формирования атмосферы Земли.

Научной новизной данной диссертации, прежде всего, является разработка авторской методики изотопно-геохимических исследований инертных газов в минеральных фракциях и обработки их результатов, которая позволяет отделить первичные мантийные компоненты благородных газов от контаминирующих и *in situ* образованных в образцах. На основе этой методики были охарактеризованы изотопными метками благородных газов (He, Ne, Ar) и азота различные породы мантийного генезиса, выделены изотопные характеристики конкретных глубинных мантийных резервуаров, рассмотрены взаимосвязи этих характеристик с определенными геодинамическими обстановками, предложена методика выявления корового субдुцированного материала в мантийных субстратах и многое другое.

Работа целиком построена на оригинальных результатах лабораторных исследований. Всего автором при подготовке данной работы было проанализировано более 60 образцов пород. Важной заслугой автора наряду с обработкой и интерпретацией результатов исследования является разработка новых методов извлечения газов из образцов пород и мономинеральных фракций. Помимо необходимого для защиты числа публикаций автор диссертации также получил два патента, касающихся пробоподготовки образцов пород к анализу изотопного состава разных газов. Поэтому сделанные автором выводы выглядят обоснованными.

Диссертация состоит из 8 глав и изложена на 283 страницах, иллюстрирована многочисленными рисунками и таблицами, список литературы насчитывает 379 наименований.

Далее текст работы анализируется по главам. В отдельных пунктах выделены замечания и вопросы по тексту работы.

В Главе 1 дан литературный обзор современных представлений о составе и структуре мантии Земли, изотопных характеристиках благородных газов и азота в веществе мантии.

1. Автор в данной работе представляет изотопный состав He в виде $^4\text{He}/^3\text{He}$ (а не $^3\text{He}/^4\text{He}$, как это делается во многих работах). Такая форма представления изотопного состава гелия, возможно, и удобна для описания процессов, связанных с накоплением инертных газов (He, Ne, Ar) радиогенного генезиса. Однако, логика такой систематики не совсем понятна, поскольку диссертант в большей степени анализирует

именно мантийную, а не радиогенную составляющую гелия. Кстати, в литературном обзоре автор приводит изотопные характеристики гелия, то в системе $^3\text{He}/^4\text{He}$, то $^4\text{He}/^3\text{He}$, что доставляет читателю некоторое неудобство в восприятии данного материала. Особенно сильно этот разнотип проявляется в описании изотопного состава He для океанических островов (см. стр. 31).

2. Описывая особенности благородных газов в мантии под континентами автор отмечает, что «мощность континентальной литосферы неопределенна и колеблется обычно от 50 до 200 км, достигая 400 км под архейскими кратонами» (стр. 46). При этом под континентальной литосферой понимается верхняя часть твердой континентальной коры и верхняя часть (сублитосферной) мантии, разделяемые границей Мохоровичича (Мохо). Во-первых, стоило бы дать ссылку на источник такой информации. Во-вторых – не очень понятна логика диссертанта, объединяющего породы континентальной коры и подстилающей ее части мантии в единый литосферный комплекс, тем более что ксенолиты подстилающих кору мантийных пород также могли бы быть объектами исследования. Работа ведь посвящена исследованию газов мантии. М.б. стоило бы использовать в качестве такой границы всё-таки границу Мохо?
3. На стр. 49 приведен рис. 1.6 (Вариации отношений $^3\text{He}/^4\text{He}$ для фенокристов и ксенолитов из разных континентальных районов). Хотя этот рисунок и заимствован из цитируемой работы, но на нем почти полностью отсутствуют данные по северной части Евразии - по территории бывшего СССР. Разве такие исследования здесь не проводились другими авторами?
4. Поскольку диссертация защищается по направлению геолого-минералогические науки, в данной главе было бы целесообразно выделить самостоятельный раздел с обоснованием и описанием конкретных геодинамических обстановок, которые будут рассматриваться в данной работе. Это важно т.к., «влияние геодинамических обстановок» на изотопию инертных газов упоминается в названии работы. Однако этот термин подразумевает весьма широкий их спектр, который далеко выходит за рамки данной работы. К тому же не понятно, почему результаты исследований каких-то объектов вошли в диссертацию, а каких-то нет?

В главе 2 изложено описание отбора образцов и применяемых методов исследования.

1. Из текста работы следует, что диссертант для своих исследований использовал чужие коллекции образцов (базальтов, карбонатитов и т.п.), которые отбирались ранее не для целей изучения геохимических особенностей благородных газов. Предполагаю, что часть из них, возможно подавляющая, была отобрана непосредственно с поверхности земли и могла какое-то время экспонироваться солнечной радиацией, которая могла повлиять на некоторые изотопные характеристики инертных газов. Каким образом производилась отбраковка таких образцов, например по изотопным данным?
2. Для выделения газов из образцов автор применил метод ступенчатого дробления. При этом, обсуждая альтернативные методы выделения газов, например, ступенчатое плавление, автор отмечает, что в последнем случае при температурном разрушении (декрипитации) газовой-жидких включений не всегда ясно какие газы выходят из включений, а какие из кристаллической решетки. Надо заметить, что та же самая проблема присуща и ступенчатому дроблению, поскольку заражение получаемой пробы газами, выделяющимися из кристаллической решетки минералов, будет происходить точно также. Наверное, целесообразно было бы представить результаты параллельного опыта выделения газов разными методами.

В Главе 3 обсуждается проблема присутствия *in situ* образованных в мантийных породах благородных газов. Автором было показано, что при интенсивном ударном воздействии увеличивается выход радиогенных инертных газов, присутствие которых искажает первично-мантийные метки газов газовой-жидких включений.

1. В таблице 3.1. «Содержание и изотопный состав гелия, неона и аргона в пироксеновой и кальцитовых фракциях из пироксенита и карбонатита комплекса Себлявр, Кольский полуостров» имеется строка «сумма». Не для всякого столбца в этой таблице понятно, что автор подразумевает под этим термином. Если для концентраций изотопов газов (^4He , ^{40}Ar и др.) это действительно сумма измеренных концентраций. То для изотопных отношений ($^4\text{He}/^3\text{He}$, $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ и др.), а также для значений $\pm\sigma$ цифры не соответствуют сумме значений. Очевидно, они рассчитывались как-то иначе, что требует пояснений к таблице. То же самое замечание относится и к другим таблицам, представленным в этой и других главах, в том числе, содержащих информацию о значениях $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ и $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$.
2. Обсуждая в этой главе влияние интенсивности дробления (числа ударов) на изотопные характеристики газов автор показал, что наиболее «мантийные» значения для инертных газов получаются на начальных стадиях дробления. Это, безусловно, является вкладом автора в развитие данной методики. Однако не понятно, зачем было обсуждать в последующих главах, посвященных конкретным геологическим объектам, то же самое? Методика отработана, ну и давайте применять её оптимальный вариант.

Глава 4 посвящена результатам исследования изотопно-геохимических особенностей газов карбонатитового комплекса Себлявр (Карелия).

1. Обсуждая в главе 3 (те же самые результаты исследования, только с точки зрения отработки методических подходов) автор приводит результаты ступенчатого дробления кальцитов в табл. 3.1 и 4.3. В табл. 3.1 дробление кальцитов дает схожие с пироксенами результаты – значения $^4\text{He}/^3\text{He}$ закономерно возрастают при увеличении числа ударов. Приведенные в табл. 4.3 данные по $^4\text{He}/^3\text{He}$ дают более сложную картину изменения этих значений в зависимости от количества ударов. Например, в образце Sb198-45Cal после 900 ударов значение $^4\text{He}/^3\text{He}$ становится таким же мантийным, как и на начальных стадиях дробления пироксенов. Почему? Наверное, такое поведение этого образца кальцита тоже стоило бы рассмотреть в методической части диссертации (в главе 3).
2. В этом разделе автор также обсуждает данные по изотопному составу углерода в CO_2 и азота в N_2 . Однако таблицы с этими результатами почему-то в работе отсутствуют. Кстати обсуждение изотопных характеристик N_2 ($\delta^{15}\text{N}$) и $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ для массива Себлявр также отсутствуют. Поэтому не ясно, с чем связаны широкие вариации $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$, обнаруженные автором в образцах, как значения $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ соотносятся с изотопными характеристиками инертных газов, и почему значения $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ здесь зависят от степени ударного воздействия?
3. Анализируя полученные данные по изотопии He, Ne, Ar в исследованных объектах, в том числе и в девонских карбонатитах автор на рисунках в этой и других главах использует в качестве конечных членов метки изотопных отношений в том числе и для современного воздуха. Соответственно возникает вопрос – насколько они были стабильны во времени в атмосфере Земли? Если они менялись, то почему на используемых диаграммах они ни как не проявляются. При этом большинство диаграмм хорошо описывают контаминацию проб только атмосферными компонентами – м.б. это результат лабораторных погрешностей?
4. При описании своих результатов исследований карбонатитовых комплексов, в том числе и комплекса Себлявр, автор ссылается на более ранние работы других

исследователей, которые были опубликованы раньше работ автора. В связи с этим автору необходимо четко обозначить свой личный вклад в их изучение.

Глава 5 посвящена результатам исследования Гулинского комплекса карбонатитов.

1. Вода, выделенная из минеральных фракций, характеризуется очень низкими значениями $\delta^2\text{H}$ (-151...-108‰), которые подозрительно напоминают изотопные характеристики современных атмосферных вод данной климатической зоны (север Восточной Сибири). Хотелось бы узнать, что думает по этому поводу автор и насколько эти определения согласуются с определениями $\delta^2\text{H}$ на других аналогичных объектах. Кстати, возникает вопрос – в какой климатической зоне находился исследуемый массив на момент своего образования (в такой же арктической или более теплой)? Вроде бы граница перми и триаса здесь характеризовалась более теплой климатической обстановкой и, например, в пермских отложениях в этом регионе известны залежи углей. Поэтому кажется маловероятным, что древние атмосферные воды могли характеризоваться столь низкими значениями $\delta^2\text{H}$.
2. При обсуждении $\delta^2\text{H}$ - $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ систематики автор, анализируя прямую зависимость этих значений, предполагает участие в формировании значений $\delta^2\text{H}$ и $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ древних высокотемпературных вод атмосферного происхождения. Учитывая замечание 1, можно предположить, что влияния древних вод на значения $\delta^2\text{H}$ могло не быть. Ведь данная зависимость может с тем же успехом отражать влияние современных холодных инфильтрационных вод, которые вместе с аргоном проникают в микротрещины минеральных частиц. Кстати вода в образцах помимо газовой-жидкой включений, содержащих древнюю воду, может также присутствовать в рыхло- и прочносвязанных формах, сорбированных на поверхности минеральных частиц и в трещинах. Последняя может вполне иметь и современное происхождение. При пробоподготовке она может не полностью удаляться при высушивании пробы при 120°C. Поэтому вывод автора об участии в формировании карбонатитов древних инфильтрационных вод представляется небесспорным.
3. Исследуя изотопные характеристики C и O в CO_2 карбонатитовых массивов (см. табл. 5.4 на стр. 134) автор почему-то не обсуждает сильные вариации значений $\delta^{18}\text{O}$, которые зависят от степени дробления минерального материала (они варьируют от -1.5 до +30‰). Самые высокие значения $\delta^{18}\text{O}$ получаются на начальных стадиях дробления (когда выделяются газы с наибольшим содержанием мантийных компонентов), а более низкие на последующих. При этом автор для каждого образца приводит еще и среднеарифметическое (это так?) значение $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, рассчитанное по всем измерениям в образце. Какой «геологический» или «геохимический» смысл таких средних (или валовых?) значений - совершенно не понятно, и какие значения $\delta^{18}\text{O}$ следует принимать за «истину»!
4. При представлении результатов определений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в CO_2 стоило бы для тех же образцов привести и значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в карбонатах (в табл. 5.4 эти данные отсутствуют). Это важно, т.к. автор предполагает, что низкие значения $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ (-16...-9‰) могут быть результатом низкотемпературного обмена по углероду в системе « CO_2 - CaCO_3 » (а почему не влияния «биогенного» вещества, как в случае с азотом?).
5. При интерпретации данных по изотопии инертных газов автор приходит к выводу, что их изотопные характеристики соответствуют верхней мантии. Однако анализ изотопных характеристик карбонатных фаз и воды приводит автора к заключению, что в формировании этих комплексов принимали участие и древние инфильтрационные воды. Возникает вопрос, не могли ли посторонние «не мантийные» - коровые флюиды привнести в исследуемые расплавы радиогенный гелий (а также радиогенные изотопы других газов), занизив исходные «плюмовые» значения?

В главе 6 рассматривается систематика He, Ne, Ar, N₂, CO₂ для газожидких включений MORB (на примере САХ и района Буве).

1. Анализируя соотношения изотопных характеристик C, Ar и N₂ в газах MORB автор приходит к выводу, что при увеличении числа ударов значения $\delta^{13}\text{C}$, в целом, повышаются и начинают соответствовать значениям $\delta^{13}\text{C}$ в MORB (см. табл. 6.1 и 6.2). При этом CO₂, выделяющаяся на начальных стадиях дробления, часто характеризуется более низкими значениями $\delta^{13}\text{C}$ (до -9.5‰). Также на стр. 166 автор констатирует что «с увеличением значения $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ (т.е. с увеличением доли мантийного компонента) повышаются значения $\delta^{13}\text{C}$ в образцах». На взгляд рецензента это утверждение не соответствует приведенным в таблицах данным. Из табл. 6.2 видно, что при увеличении числа ударов значения $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ чаще всего снижаются, приближаясь к атмосферной величине. Также ведет себя и значение $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$, приобретая с увеличением степени дробления более высокие, не мантийные, значения. Однако при этом значений $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)$ возрастают до «мантийных» величин (см. табл. 6.1).
2. Анализируя изотопный состав азота в этой и других главах, автор принимает для органического азота, ссылаясь на работы других исследователей, исключительно положительные значения $\delta^{15}\text{N}$. Вместе с тем, молекулярный азот в природных газах, имеющих биогенное происхождение, далеко не всегда характеризуется такими значениями. Например, Э.М. Прасоловым, изучавшим изотопный состав молекулярного азота в газах месторождений нефти и газа СССР (Прасолов, 1990), было показано, что значения $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$ в их газах могут меняться в диапазоне от ~ -14.5 до +27‰. При этом во многих месторождениях нефти и газа бывшего СССР азот характеризуется отрицательными значениями $\delta^{15}\text{N}$. Кстати при интерпретации данных по $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$, исходя из опубликованных данных по изотопным меткам азота в различных объектах природной среды, всё-таки следует различать о каких формах азота в публикациях идет речь – газообразном (молекулярном – N₂) или входящем в состав органического вещества, а также его продуктов разрушения: нитратов, нитритов и аммония, иногда входящих в структуры некоторых минералов. Поэтому нельзя исключить, что в зонах вулканогенных термических аномалий, где может происходить разложение органических остатков, изотопный состав газообразного азота не обязательно характеризовался положительными значениями $\delta^{15}\text{N}$. Таким образом, отрицательные значения $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$ могут быть тоже «биогенными», а не только «мантийными».

В главе 7 рассматриваются изотопно-геохимические особенности газовых включений в базальтовом материале океанических островов.

1. Автор отмечает, что азот, выделенный из мантийных ксенолитов, характеризуется положительными значениями $\delta^{15}\text{N}$ (от +4.8 до +6.4 ‰) и это указывает на его органическую природу. Вместе с тем, анализируя соотношения $^4\text{He}/^{40}\text{Ar}^*$ и $\text{CO}_2/^{40}\text{Ar}^*$ (см. рис. 7.1) автор приходит к выводу, что газы исследуемого ксенолита не были сильно дегазированы на стадии расплава и изотопные метки аргона и гелия вполне адекватно отражают его мантийную природу. Мне кажется, что тут может содержаться противоречие в интерпретации изотопных данных – He и Ar мантийные, а N₂ – органический. М.б. положительные значения $\delta^{15}\text{N}$ могут быть объяснены как-то иначе, например, фракционированием N₂ в расплаве? Кстати еще вопрос – если азот органический, то какого примерно возраста могли быть эти органические осадки?

В главе 8 автор делает обобщение всех полученных материалов, обсуждая взаимодействие глубинного (плюмового), мантийного (MORB) и субдущированного материала, роль которых отражается в изотопных и концентрационных характеристиках инертных газов и азота. Важным критерием присутствия субдущированного материала диссертант считает пониженные значения изотопных характеристик аргона ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$) и положительные значения $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$.

1. Не оспаривая этот вывод (тем более, что он дублируется и в публикациях других исследователей), хотелось бы заметить, что если положительные значения $\delta^{15}\text{N}(\text{N}_2)$ указывают на органогенную природу азота, то почему автор не привлекает для доказательства таковой природы и изотопные характеристики углерода или его соотношения с концентрациями благородных газов? Получается, что биогенный азот, которого в биогенном материале не так уж и много, оставляет свой «след» в мантийных газах, а биогенный углерод - нет?
2. В диссертации автор проанализировал очень разновозрастные геологические объекты, в которых проявилось участие мантийного вещества. В настоящее время популярны представления о глубинной конвекции мантийного и субдущированного материала и существовании суперплюмов. Однако эта концепция может подразумевать геохимическую, в том числе и по инертным газам, эволюцию разновозрастных структур мантии во времени. Возникает вопрос, м.б. обсуждаемые в данной работе неоднородности газового состава в какой-то мере могут быть объяснены разными возрастами мантийных доменов и условиями/временными этапами циркуляции мантийного вещества?

Общие замечание по тексту диссертации:

1. Работа носит немного эклектичный характер – создается ощущение, что она сложена из локальных статей, опубликованных автором по разным и, в какой-то степени, случайным объектам, характеризующим ограниченное число из известных геодинамических обстановок проявления мантийной активности. В характере изложения отдельных глав хорошо заметна структура изложения материала в статейном стиле.
2. Тема работы в сравнении с ее содержанием сформулирована излишне широко. По факту автор собственноручно изучил лишь небольшое число геологических объектов: 2 карбонатитовых массива, 2 места выходов базальтов в пределах только Срединно-Атлантического хребта, район тройного сочленения Буве и вулканы Архипелага Фернандо-де-Норонья. Впрочем, надо отметить, что диссертант прекрасно владеет информацией, опубликованной другими авторами по изотопии инертных газов в мантийных ксенолитах из других геологических объектов Земли.

В заключении надо отметить, что высказанные в отзыве замечания и вопросы часто носят дискуссионный характер. Они и не затрагивают основные защищаемые положения и выводы диссертации. Выводы и заключения, сделанные в данной работе, представляются обоснованными и соответствуют уровню современной изученности данной проблемы. Изложенный в работе новый фактический материал, представляется важным шагом в понимании генезиса и геохимических циклов инертных газов и азота в мантии Земли. Особо надо отметить большой вклад автора в развитие аналитической базы этих исследований, разработку методологии выявления мантийной и радиогенной компонент газов, выделяющихся на разных стадиях дробления минералов. Несомненный интерес также представляет предложенная автором методика выделения с использованием Ar-N_2 изотопной систематики сигнатуры примеси субдущированного материала, иногда присутствующего в мантийных расплавах. Необходимо также отметить, что данная работа имеет большое фундаментально-научное значение в плане формирования и развития

представлений о глубинном строении литосферы Земли, а также генезиса различного рода мантийных образований.

Диссертация является крупным научным обобщением в области геохимии инертных газов, присутствующих в газовой-жидких включениях и кристаллической решетке минералов мантийных пород. Она также вносит неоспоримый вклад в развитие методологии их исследования, а ее теоретические положения можно квалифицировать как важное научное достижение.

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта научной специальности 1.6.4 - «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»: 13, 14, 15.

Автореферат диссертации полностью отражает её содержание. Представленная диссертация полностью соответствует требованиям п.9-14 Постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Буйкин Алексей Иванович заслуживает присуждения степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Лаврушин Василий Юрьевич

- доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, заместитель директора по научной работе;

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН), Лаборатория теплопереноса;

- адрес: 119017, Москва, Пыжёвский пер. 7, стр. 1;

- e-mail: v_lavrushin@ginras.ru

- тел: +7(495)951-93-91

Я, Лаврушин Василий Юрьевич, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

18.05.2026

В.Ю.Лаврушин



Сведения об официальном оппоненте

Я, Лаврушин Василий Юрьевич, даю свое согласие выступить в качестве официального оппонента по диссертации Буйкина Алексея Ивановича «ИЗОТОПНАЯ СИСТЕМАТИКА БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ И АЗОТА В МАНТИЙНЫХ ПОРОДАХ: ВЛИЯНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

О себе сообщаю:

Фамилия, имя, отчество: Лаврушин Василий Юрьевич

Учёная степень: д.г.-м.н.

Шифр и наименование специальности, по которой защищена диссертация:

1.6.4 - минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Учёное звание: нет

Полное и сокращенное название организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН)

Должность, структурное подразделение: Заместитель директора по научной работе, главный научный сотрудник лаборатории Тепломассопереноса

Адрес организации: 119017 Москва, Пыжевский пер. 7, стр. 1

Телефон: +7-910-427-29-61

e-mail: wll2@yandex.ru

Научные работы по специальности оппонируемой диссертации

1. Поляк Б.Г., Лаврушин В.Ю., Чешко А.Л., Киквадзе О.Е. Термы Чукотки. Тр. ГИН РАН, вып. 631. М.:ГЕОС. 2022. 222 с. ISBN 978-5-89118-857-0
2. Лаврушин В.Ю., Айдаркожина А.С. Условия формирования глинистой пульпы грязевых вулканов Керченско-Таманской области по данным пиролитических и геохимических исследований // Литология и полезные ископаемые. 2025. №1. С. 786–804. DOI: 10.31857/S0024497X25010045

3. Chelnokov G., Lavrushin V., Ermakov A., Guo Q., Aidarkozhina A., Kharitonova N., Bragin I., Pavlov A. Toxic Element Contamination Sources in the Surface and Groundwater of the Elbrus Region: Geochemistry and Health Risks // *Water*, 2024. 16(5). 701; DOI: 10.3390/w16050701
4. Айдаркожина А.С., Лаврушин В.Ю., Ермаков А.В., Челноков Г.А., Zhang L. Углекислые термы штольни Нейтрино (Северный Кавказ) // *ДАН*, 2024 том 515. № 1. С. 63–73.
5. Челноков Г.А., Лаврушин В.Ю. Брагин И.В., Харитонов Н.А., Бушкарёва К.Ю., Павлов А.А., Челнокова Б.И. Радон в минеральных водах Сихотэ-Алиня (Приморский край) // *Тихоокеанская геология*. 2023, том 42, № 3, с. 101–115. DOI: 10.30911/0207-4028-2023-42-3-101-115
6. Chelnokov G., Lavrushin V., Bragin I., Abdullaev A., Aidarkozhina A. and Kharitonova N. Geochemistry of Thermal and Cold Mineral Water and Gases of the Tien Shan and the Pamir // *Water*. 2022, 14, 838. DOI: 10.3390/w14060838
7. Айдаркожина А.С., Лаврушин В.Ю., Кузнецов А.Б., Сокол Э.В., Крамчанинов А. Ю. Изотопный состав стронция в водах грязевых вулканов Керченско-Таманской области // *ДАН*. 2021. Т. 499. № 1. С. 19–25. DOI: 10.31857/S2686739721070021
8. Лаврушин В.Ю., Айдаркожина А., Сокол Э.В., Челноков Г.А., Петров О.Л. Грязевулканические флюиды Керченско-Таманской области: геохимические реконструкции и региональные тренды. Сообщение 1. Геохимические особенности и генезис грязевулканических вод // *Литология и полезные ископаемые*, 2021. № 6. С. 485–512.
9. Лаврушин В.Ю., Алиев Ад. А., Покровский Б.Г., Козменко О.А., Киквадзе О.Е., Сокол Э.В. Изотопно-геохимические характеристики карбонатов из выбросов грязевых вулканов Куринской впадины (Азербайджан) // *Литология и полезные ископаемые*, 2019. № 3. С. 211–233.
10. Лаврушин В.Ю., Исрафилов Ю.Г., Поляк Б.Г., Покровский Б.Г., Буякайте М.И., Каменский И.Л. Условия формирования термоминеральных вод Талышской складчатой зоны Малого Кавказа (Азербайджан) по изотопно-химическим данным ($^3\text{He}/^4\text{He}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{N}_2}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$) // *Литология и полезные ископаемые*, 2018. № 1. С. 58–82. DOI: 10.1134/S0024490217060050
11. Лаврушин В.Ю., Айдаркожина А., Покровский Б.Г., Прасолов Э.М., Потапов Е.Г., Ермаков А.В. Изотопный состав азота и углерода в газах углекислых вод Северного Кавказа // *Геохимия*, 2020. Т. 65. № 11. с. 1115–1128.
12. Буякайте М. И., Лаврушин В. Ю., Покровский Б.Г. Изотопный состав стронция в водах грязевых вулканов Азербайджана // *Литология и полезные ископаемые*, 2019. № 5. С. 391–403.
13. Лаврушин В.Ю., Айдаркожина А., Сокол Э.В., Челноков Г.А., Петров О.Л. Грязевулканические флюиды Керченско-Таманской области: геохимические реконструкции и региональные тренды. Сообщение 2: генезис грязевулканических газов и региональные геохимические тренды // *Литология и полезные ископаемые*, 2022. № 1. № 1. С. 3–27. DOI: 10.31857/S0024497X22010062
14. Лаврушин В.Ю., Ma Y., You C.-F., Айдаркожина А.С., Сокол Э.В., Lin Y.-P., Челноков Г.А., Кох С.Н., Ma X. $\delta^{11}\text{B}$ в водах грязевых вулканов Керченско-Таманской грязевулканической области (Крымско-Кавказский регион): генезис и условия формирования борной минерализации // *Литология и полезные ископаемые*. 2025. № 5. С. 511–539. DOI: 10.17654/0973576325007
15. Zhang L., Ma X., Chelnokov G., Lavrushin V., Guo Y., Sajjad W., Zhongping L., Zheng G. Isotopic evidence for the origin and migration of methane and carbon dioxide in

terrestrial mud volcano systems: Insights from carbon and hydrogen isotope
fractionation // Marine and Petroleum Geology. Volume 183, January 2026, 107649
<https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2025.107649>

11.05.2026



В.Ю. Лаврушин

