

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.109.02,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ГЕОХИМИИ И  
АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ ИМ. В.И. ВЕРНАДСКОГО РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК (ГЕОХИ РАН) МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ  
СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 20.10.2021 г., №\_1

О присуждении Веливецкой Татьяне Алексеевне, гражданину России,  
ученой степени доктора геолого-минералогических наук.

Диссертация «Эффекты масс-независимого фракционирования изотопов серы и кислорода в архейской атмосфере Земли» по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых принята к защите 02 июня 2021 г., протокол № 2, диссертационным советом Д 002.109.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской Академии наук (ГЕОХИ РАН), Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, (119991, г. Москва, ул. Косыгина, д.19, приказ о создании диссертационного совета № 105/нк от 11.04.2012).

Соискатель Веливецкая Татьяна Алексеевна, «26» декабря 1962 года рождения. В 1985 году окончила Дальневосточный государственный университет. Решением Государственной экзаменационной комиссии присвоена квалификация «физик, преподаватель» по специальности «ядерная физика».

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 04.00.02 – геохимия «Изотопно-геохимические закономерности формирования Майминового серебро-полиметаллического месторождения (Приморье)» защитила в 1996 году в

диссертационном совете, созданном на базе Амурского комплексного научно-исследовательского института Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Соискатель Веливецкая Татьяна Алексеевна работает ведущим научным сотрудником в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Дальневосточном геологическом институте Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории стабильных изотопов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Научный консультант – доктор геолого-минералогических наук Высоцкий Сергей Викторович, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, главный научный сотрудник, заведующий Отделом петрологии и минералогии, руководитель лаборатории генетической минералогии и петрологии Дальневосточного геологического института ДВО РАН.

Официальные оппоненты:

- Поляков Вениамин Борисович, доктор химических наук, главный научный сотрудник лаборатории изотопной геохимии и геохронологии Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва;
- Дубинина Елена Олеговна, доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник лаборатории изотопной геохимии и геохронологии Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г.Москва;
- Покровский Борис Глебович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории геохимии изотопов и геохронологии Геологического института РАН г. Москва

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН, г.Новосибирск в своем положительном отзыве,

подписанном Шацким Владиславом Станиславовичем, доктором геолого-минералогических наук, академиком РАН, главным научным сотрудником лаборатории экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса и Реутским Вадимом Николаевичем, доктором геолого-минералогических наук, заместителем директора по научной работе, ведущим научным сотрудником лаборатории изотопно-аналитической геохимии, указала, что «диссертация Татьяны Алексеевны Веливецкой соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к работам, представляемым на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Автореферат в полном объеме отражает суть работы. Защищаемые положения полностью обоснованы и опубликованы в рецензируемых научных журналах, в том числе международных. Автор работы, Татьяна Алексеевна Веливецкая, без сомнения, заслуживает присвоения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых. Отзыв рассмотрен и одобрен в качестве официального на заседании Учёного совета ИГМ СО РАН 02.09.2021 г. (протокол №12)».

Соискатель имеет 217 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 44 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 22 работы.

В научных работах по теме диссертации развито направление экспериментальных исследований масс-независимого фракционирования изотопов кислорода и серы в фотохимических процессах и предложен новый метод фемтосекундной лазерной абляции с последующей хроматографией и изотопной масс-спектрометрией для определения отношений малораспространенных изотопов серы в сульфидах на локальном уровне. Результаты, представленные в публикациях, имеют фундаментальный характер, вносят вклад в развитие знаний в области геохимии изотопов, предоставляют новые возможности для расшифровки ключевых процессов, влияющих на глобальный круговорот серы и кислорода в архее, дают понимание основных причин и механизмов, которые привели к возникновению изотопных аномалий серы в архейских породах и, возможно, кислородной атмосферы Земли.

Результаты исследований позволяют доказательно интерпретировать вариации изотопного состава серы в архейских породах в соответствии с их реальной природой. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах Веливецкой Т.А. Авторский вклад составляет не менее 85 %.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Velivetskaya T.A., Ignatiev A.V., Budnitskiy S.Y., Yakovenko V.V., Vysotskiy S.V. Mass-independent fractionation of oxygen isotopes during H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> formation by gas-phase discharge from water vapour // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2016. Vol. 193. P. 54–65.
2. Ignatiev A.V., Velivetskaya T.A., Budnitskiy S.Y., Yakovenko V.V., Vysotskiy S.V., Levitskii V.I. Precision analysis of multisulfur isotopes in sulfides by femtosecond laser ablation GC-IRMS at high spatial resolution // *Chemical Geology*. 2018. Vol. 493. P. 316–326.
3. Velivetskaya T.A., Ignatiev A.V., Yakovenko V.V., Vysotskiy S.V. An improved femtosecond laser-ablation fluorination method for measurements of sulfur isotopic anomalies ( $\Delta^{33}\text{S}$  and  $\Delta^{36}\text{S}$ ) in sulfides with high precision // *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2019. Vol. 33. P. 1722–1729.
4. Веливецкая Т.А., Игнатьев А.В., Яковенко В.В. Масс-независимое фракционирование изотопов серы в фотохимических процессах SO<sub>2</sub> под воздействием УФ излучения различных длин волн // *Геохимия*. 2020. Т. 65, № 11. С. 1080–1091.
5. Игнатьев А.В., Веливецкая Т.А., Яковенко В.В. Эффект масс-независимого фракционирования изотопов серы ( $\Delta^{33}\text{S}$  и  $\Delta^{36}\text{S}$ ) при фотолизе SO<sub>2</sub> в экспериментах с широкополосным источником света // *Геохимия*. 2019. Т. 64, №7. С. 689–699.
6. Velivetskaya T.A., Ignatiev A.V., Yakovenko V.V., Vysotskiy S.V. Experimental studies of the oxygen isotope anomalies ( $\Delta^{17}\text{O}$ ) of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and their relation to radical recombination reactions // *Chemical Physics Letters*. 2018. Vol. 693. P. 107–113.

7. Высоцкий С.В., Игнатъев А.В., Левицкий В.И., Веливецкая Т.А., Асеева А.В., Левицкий И.В., Мехоношин А.С. Источники серы сульфидной минерализации в архейских толщах Шарыжалгайского выступа фундамента Сибирского кратона по мультиизотопным данным // Геология и геофизика. 2019. Т. 60, № 8. С. 1091–1107.
8. Игнатъев А.В., академик РАН Ханчук А.И., Высоцкий С.В., Веливецкая Т.А., Левицкий В.И., Терехов Е.Н. Первые данные масс-независимого фракционирования изотопов серы в сульфидах из пород восточной части Фенноскандинавского щита // Доклады Академии наук. 2016. Т. 469, № 6. С. 714–716.

На автореферат и диссертацию поступило 17 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечается актуальность темы диссертационной работы, обоснованность цели и задач, научная новизна и значимость результатов исследования, их значение для практического использования. Отзывы без замечаний поступили от:

- док. геол.-мин. наук Борзенко С.В., Институт природных ресурсов, экологии и криологии, г.Чита;

- док. геол.-мин. наук Знаменского С.Е., Институт геологии — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра РАН, г.Уфа;

- док. геол.-мин. наук, профессора Фридовского В.Ю., Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г.Якутск;

- канд. геол.-мин. наук Юдовской М.А., Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г.Москва;

- док. геол.-мин. наук, профессора Харитоновой Н.А., Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва;

- канд. геол.-мин. наук, Майоровой Т.П., Коми научный центр УрО РАН, г. Сыктывкар.

Замечания и вопросы содержатся в следующих отзывах:

- док. геол.-мин. наук, профессор Левицкий В.И., Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск. Замечания: 1. Крайне желательным было бы иметь данные

геохронологических определений именно тех пород, для которых проводились изотопные исследования S. Общих (из литературы) геохронологических данных тех или иных комплексов недостаточно для таких прецизионных и уникальных исследований изотопов. 2. В работе очень детально рассмотрены эффекты масс-независимого фракционирования изотопов серы с примерами их проявления. Для кислорода экспериментально изучена только сама возможность генерирования  $H_2O_2$  в результате фотодиссоциации  $H_2O$  в бескислородной атмосфере. Отсутствуют какие-либо примеры и, соответственно, данные об эффектах масс-независимого фракционирования кислорода на конкретных объектах.

- док. геол.-мин. наук, профессор Арбузов С.И., отделение геологии Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск. Замечания: 1. В своих весьма успешных изысканиях автор сосредоточился исключительно на фотолитическом механизме распада  $SO_2$ , не рассматривая альтернативные варианты, например, радиолиз этого соединения так же, как радиолиз воды. Вероятно, было бы полезно расширить диапазон исследуемого коротковолнового излучения, не ограничиваясь только ультрафиолетом. 2. Формирование архейских кристаллических сланцев и гнейсов – сложный многостадийный процесс, протекавший с участием воды в высокотемпературных условиях вплоть до анатексиса и палингенеза. Очевидно, что в таких процессах могло иметь место и фракционирование изотопов серы и кислорода. Вероятно, следовало в какой-то степени рассмотреть возможную роль этих процессов во фракционировании исследуемых изотопов. Возможно в самой диссертации такой анализ проведён.

- док. геол.-мин. наук Кривошук Н.А., Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского, г. Москва. Замечания: В качестве замечания следует отметить отсутствие данных по 36 изотопу серы в детально изученных рудах Мончегорского плутона и колчеданных рудопроявлениях Фенноскандинавского щита. Эта информация представляется очень важной и явилась бы дополнительным подтверждением протекания процессов фотохимической трансформации серы в бескислородной архейской атмосфере,

которые имели планетарное значение, что продемонстрировано на примере Шарыжалгайского выступа Сибирской платформы.

- док. геол.-мин. наук, чл.-корр. РАН Диденко А.Н., Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск. Замечания: Есть одно непринципиальное замечание к рисунку 21 автореферата «Схема геологического строения Шарыжалгайского выступа Сибирской платформы (по Высоцкий и др., 2019). Впервые подобная схема геологического строения Шарыжалгай была опубликована, вероятно, более 35 лет назад (Геологическая карта юга Восточной Сибири и северной части МНР. М-б 1:1 500 000 / Гл. ред. А.Л. Яншин. – М.: Мингео СССР, 1983). Затем схема с не очень большими изменениями демонстрировалась в многочисленных работах как сибирских, так и других геологов. Полагаю, целесообразно ссылки давать на первоисточники.

- док. геол.-мин. наук, чл.-корр. РАН, Горячева Н.А., Северо-восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, г. Магадан. Замечания: В качестве небольшого замечания отмечу необходимость отражения на рис. 16 автореферата результатов изучения изотопного состава серы сульфидов колчеданных руд Каменноозерской структуры по минеральным формам, поскольку эволюция процесса минералообразования в каждом конкретном объекте может быть дискретна.

- док. геол.-мин. наук Ефремов С.В. и канд. геол.-мин. наук Будяк А.Е., Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск. Замечания: К недостаткам работы, можно отнести исключительную сложность построения текста автореферата, ввиду чего смысл предложений становится очевиден только в результате многократного прочтения.

- канд. геол.-мин. наук Орсоев Д.А., Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ. Замечания: В качестве замечания хотелось бы отметить отсутствие в работе приложения непосредственно к природным объектам результатов экспериментального изучения возможного генерирования  $H_2O_2$  вследствие фотохимической диссоциации молекул воды, как результат масс-независимого разделения изотопов кислорода.

- док. геол.-мин. наук Мурзин В.В. и канд. геол.-мин. наук Малич К.Н., Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, г. Екатеринбург. Замечания: В качестве замечания отметим, что работа значительно бы выиграла, если бы в ней были приведены примеры масс-независимого фракционирования изотопов кислорода в природных объектах.

- док. технических наук Васильева И.Е., Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск. Замечания: Как замечание следует отметить, что в автореферате не приведены условия выполнения анализа и точность измерений изотопных отношений кислорода.

- док. геол.-мин. наук, чл.-корр. РАН Гладкочуб Д.П., Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск. Замечания: При прочтении автореферата диссертации возник небольшой вопрос, на который хотелось бы получить ответ: При рассмотрении изотопного состава серы в сульфидах, отобранных из пород черемшанской толщи Шарыжалгайского выступа фундамента Сибирской платформы (стр. 41-43 автореферата), автором было проведено сравнение изотопного состава  $\delta^{34}\text{S}$  и магнитуды изотопной аномалии серы  $\Delta^{33}\text{S}$  в сульфидах из метаморфических и ультраметаморфических пород. В связи с тем, что в автореферате приведён только возраст протолита пород черемшанской толщи и не приведены данные по возрасту метаморфизма и мигматизации, то возникает вопрос о возрасте этих процессов, затронувших исследованные породы, так как породы Иркутского блока Шарыжалгайского выступа испытали два этапа метаморфической переработки (неоархейский и раннепротерозойский). Автор показала, что имеются некоторые отличия в магнитуде изотопной аномалии серы  $\Delta^{33}\text{S}$  в сульфидах из метаморфических и ультраметаморфических пород. Могут ли эти отличия теоретически быть связаны с разным возрастом метаморфических и ультраметаморфических процессов?

- док. геол.-мин. наук Пономарчук В.А., Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск. Замечания: 1. При этом возникает вопрос, насколько характеристики и процессы в реакционной ячейке соответствуют характеристикам архейской атмосферы. Если учитывать сложность процессов в

природе, то в этом разделе следовало бы ожидать упоминание о сопряженном к рассматриваемому каналу стока изотопов с противоположным знаком. 2. В связи с этим, учитывая отсутствие некоторых данных в автореферате, возникает сомнение в однозначности представленной интерпретации. Например, приведенные в автореферате ограниченные характеристики рудопроявления Центральная Вожма, которые связываются с сульфатом серы, приемлемы для механизма образования аномальной серы за счет магнитного изотопного эффекта. Этим же эффектом можно объяснить аномальность серы Волчетундровского массива в противовес предложенного объяснения, основанном на ассимиляции корового вещества исходными мантийными расплавами во время их продвижения к поверхности. В последнем случае происходит смешение элементного состава магм и вмещающих пород, но насколько оно значимо из автореферата не ясно.

Выбор официальных оппонентов доктора химических наук Полякова В.Б., доктора геолого-минералогических наук Дубининой Е.О., доктора геолого-минералогических наук Покровского Б.Г., а также ведущей организации обосновывается высокорейтинговыми публикациями оппонентов, тематикой структурного подразделения ведущей организации и наличием публикаций, относящимися к области исследований, которым посвящена диссертация.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**Разработан** новый метод локального определения отношений четырёх стабильных изотопов серы  $^{32}\text{S}$ ,  $^{33}\text{S}$ ,  $^{34}\text{S}$  и  $^{36}\text{S}$  в природных сульфидах, сочетающий фемтосекундную лазерную абляцию и фторирование сульфидов с изотопной газовой масс-спектрометрией.

**Предложен** нестандартный подход к устранению эффектов лазерно-индуцированного фракционирования изотопов и перекрёстного загрязнения проб, основанный на испарении/распылении сульфидов сверхкороткими лазерными импульсами с переносом в потоке гелия аэрозоля в реакционную зону формирования  $\text{SF}_6$ .

**Повышена** точность и надёжность измерений  $\delta^{33}\text{S}$  и  $\delta^{36}\text{S}$  в сверхмалых (~10-12 наномоль) образцах  $\text{SF}_6$ , предложив оригинальную систему ввода газа в масс-спектрометр в высоковакуумном режиме.

С использованием предложенного метода изотопного анализа серы **выявлены новые закономерности** масс-независимого фракционирования изотопов серы в процессах фотолиза  $\text{SO}_2$  в зависимости от давления, температуры и волнового диапазона электромагнитного излучения.

**Предложены** новые подходы к решению вопроса о факторах, вызывающих разделение изотопов серы в фотохимических процессах в архейской атмосфере Земли.

**Установлено**, что изотопные эффекты серы  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\Delta^{33}\text{S}$ ,  $\Delta^{36}\text{S}$  и корреляционные зависимости между ними определяются двумя основными факторами – спектральным составом и относительной интенсивностью излучения в ультрафиолетовой области, которые контролируют характер и величину фракционирования изотопов серы в фотохимических реакциях  $\text{SO}_2$ .

**Получены экспериментальные доказательства** фотохимического происхождения изотопных аномалий серы-33 и -36 в архейских породах.

**Выявлено**, что изотопные отношения  $\Delta^{33}\text{S}/\delta^{34}\text{S}$  и  $\Delta^{36}\text{S}/\Delta^{33}\text{S}$ , значения которых удовлетворяют архейским характеристикам, обусловлены совокупностью фотохимических процессов  $\text{SO}_2$ , инициируемых излучением как из ближней, так и дальней областей УФ-излучения.

**Опровергнуто существующее положение о том**, что объяснение явлений масс-независимых изотопных эффектов серы в архейских породах лежит вне рамок фотохимических процессов  $\text{SO}_2$ . Установлено, что фотохимические реакции  $\text{SO}_2$  имеют результатом коррелированные изотопные эффекты  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\Delta^{33}\text{S}$  и  $\Delta^{36}\text{S}$ , согласующиеся с архейскими изотопными трендами  $\Delta^{33}\text{S} \approx 0.9 \times \delta^{34}\text{S}$  и  $\Delta^{36}\text{S} \approx -1.0 \times \Delta^{33}\text{S}$ .

**Доказано**, что изотопные аномалии серы в архейских породах являются прямым свидетельством отсутствия свободного молекулярного кислорода в архейской атмосфере.

*Установлено*, что при отсутствии свободного молекулярного кислорода в атмосфере фотохимические процессы с участием воды приводят к образованию пероксида водорода  $H_2O_2$ .

*Показано*, что  $H_2O_2$  формируется по механизму рекомбинации ОН радикалов, возникающих при фотолизе воды на длинах волн  $\lambda < 200$  нм. Этот экспериментальный факт даёт вескую аргументацию теоретическим моделям о фотохимическом источнике первичного кислорода в атмосфере Земли.

*Доказано* наличие эффектов масс-независимого фракционирования изотопов кислорода в фотолитическом  $H_2O_2$ .

*Показано*, что изотопные аномалии в  $H_2O_2$  обусловлены ядерно-спиновым изотопным эффектом в реакциях рекомбинации гидроксил-радикалов.

*Представлено обоснование и дальнейшее развитие научных концепций* о геохимическом цикле серы и кислорода в архее, базируясь на обобщении новых фактов и закономерностей, установленных как в фотохимических экспериментах, так и при изучении мультиизотопных характеристик серы в архейских комплексах Фенноскандинавского щита и Сибирской платформы.

*Предложена и разработана новая научная идея* о «системообразующей роли интенсивного солнечного ультрафиолетового излучения в архее», *объясняющая* общие закономерности проявлений масс-независимых изотопных эффектов серы в архейских комплексах древнейших кратонов мира, что в значительной мере обогащает научную концепцию появления изотопных аномалий серы в земных породах.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

–результаты данной работы носят фундаментальный характер, на основе которых *создан базис для доказательной интерпретации* изотопных эффектов, наблюдаемых в древних породах, в соответствии с их реальной природой.

–*доказано экспериментально* теоретическое положение о фотохимической природе явлений масс-независимого фракционирования изотопов серы в архейских породах;

–*раскрыты* факторы и условия изотопного фракционирования серы, вовлекаемой в геохимический круговорот в первые 2.5 млрд. лет геологического развития Земли;

–*изложены аргументы* для признания гипотезы о бескислородной атмосфере Земли в архее.

–*доказана* путем экспериментального моделирования правомерность гипотезы абиогенного источника кислорода, связанного с фотохимией воды в архейской атмосфере Земли;

–*объяснён* механизм ранее неизвестного масс-независимого фракционирования изотопов кислорода при фотолизе воды на основе теории магнитного изотопного эффекта в радикальных реакциях;

–*создан и использован новый метод*, позволяющий выйти на качественно новый уровень изучения природных вариаций малораспространённых изотопов серы-33 и -36, благодаря высокой точности определения соотношений всех четырёх стабильных изотопов серы на локальном уровне.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что** применение изотопных методов, включающих определение эффектов масс-независимого фракционирования изотопов серы и кислорода, дает новую возможность в решении проблем идентификации источников поступления полезных компонентов и условий образования руд раннего докембрия, что может быть использовано для совершенствования методов прогноза и поиска минерального сырья. Реализация метода, предложенного в данной работе, позволяет значительно повысить ценность и информативность результатов, полученных в геохимических исследованиях.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

*экспериментальные результаты*, полученные с помощью разработанных экспериментальных установок, нового метода локального изотопного анализа, а также различных широко апробированных методик, хорошо воспроизводимы, корректно обработаны с использованием международных стандартов, имеется хорошая согласованность результатов измерений с данными других

исследователей. Идеи базируются на обобщении и анализе имеющихся результатов экспериментальных и теоретических исследований других авторов, в том числе в смежных областях.

**Личный вклад соискателя** состоит в формировании направления исследования, постановке цели и задач диссертационной работы. Изотопные данные из фотохимических экспериментов по фотолизу  $\text{SO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  получены лично автором. Автор лично принимал участие в разработке и реализации нового метода определения изотопных отношений  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\Delta^{33}\text{S}$  и  $\Delta^{36}\text{S}$ . Автор лично выполнил обработку, систематизацию и анализ всех полученных результатов из экспериментов по фотолизу  $\text{H}_2\text{O}$ , а также значительный объём полученного массива экспериментальных данных по фотолизу  $\text{SO}_2$ . Материал диссертации неоднократно докладывался автором лично на международных и отечественных конференциях в виде устных и стендовых докладов, большая часть работы по подготовке основных публикаций по результатам экспериментальных исследований выполнена автором.

В ходе защиты диссертации критические замечания были высказаны только официальными оппонентами (отзывы прилагаются).

Соискатель Веливецкая Т.А. согласилась с большинством замечаний, а также привела убедительную аргументацию, обосновав и защитив свою точку зрения о масс-независимом характере проявления небольших (в пределах 0.5‰) изотопных аномалий серы в архейских комплексах Фенноскандинавского щита и Сибирской платформы. Пояснения и дополнительная аргументация были полностью приняты.

Соискатель ответила на ряд вопросов, заданных ей в ходе заседания, связанных с уточнением отдельных аспектов представленной работы.

На заседании «20» октября 2021 года диссертационный совет принял решение за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, присудить Веливецкой Т.А. ученую степень доктора геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 23 человек, из них 14 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 23, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета,

доктор геолого-

минералогических наук,

академик РАН

 Когарко Лия Николаевна

Ученый секретарь

диссертационного совета,

кандидат геолого-

минералогических

наук

 Мигдисова Наталья Александровна

20.10.2021

