

Заключение диссертационного совета МГУ.016.5

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от 22 декабря 2023 года № 65

О присуждении Сандалову Федору Дмитриевичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация **«Оксидная минерализация в фумаролах окислительного типа (вулкан Толбачик, Камчатка)»** по специальности 1.6.4. – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» (геолого-минералогические науки) принята к защите диссертационным советом 10 ноября 2023 года, протокол № 61.

Соискатель Сандалов Федор Дмитриевич, 1996 года рождения, в 2023 году окончил аспирантуру геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Соискатель работает в должности ведущего инженера кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Диссертация выполнена на кафедре минералогии геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук, профессор, член-корреспондент РАН Пеков Игорь Викторович, главный научный сотрудник кафедры минералогии геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Официальные оппоненты:

Бычков Андрей Юрьевич – доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор РАН, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», геологический факультет, кафедра геохимии, заведующий кафедрой;

Шарыгин Виктор Викторович – доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН «Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева» Сибирского отделения РАН, лаборатория термобарогеохимии, старший научный сотрудник;

Сорохтина Наталья Владиславовна – кандидат геолого-минералогических наук, ФГБУН «Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского» РАН, лаборатория геохимии и рудоносности щелочного магматизма, старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 35 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 8 работ, из них 7 статей общим объемом 8.52 печатных листов, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.4.:

1. Pekov I.V., **Sandalov F.D.**, Koshlyakova N.N., Vigasina M.F., Polekhovsky Y.S., Britvin S.N., Sidorov E.G., Turchkova A.G. Copper in natural oxide spinels: the new mineral thermaerogenite CuAl_2O_4 , cuprospinel and Cu-enriched varieties of other spinel-group members from fumaroles of the Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia // Minerals. 2018b. Vol. 8. N 11. Paper 498. DOI: 10.3390/min8110498 [IFactor JIF 2.700] Доля участия 0.4. Объем 1.13 п. л.

2. Пеков И.В., Агаханов А.А., Зубкова Н.В., Кошлякова Н.Н., Щипалкина Н.В., **Сандалов Ф.Д.**, Япаскурт В.О., Турчкова А.Г., Сидоров Е.Г. Фумарольные системы окислительного типа на вулкане Толбачик – минералогический и геохимический уникум // Геология и геофизика. 2020а. Т. 61. Вып. 5–6. С. 826–843. DOI: 10.15372/GiG2019167 [RINC 1.066] Доля участия 0.2. Объем 1.13 печ. л.

3. **Сандалов Ф.Д.**, Пеков И.В., Кошлякова Н.Н., Япаскурт В.О., Агаханов А.А., Сидоров Е.Г., Бритвин С.Н. Богатый халькофильными элементами (Sb, Sn, Te) рутил и высокотитанистые разновидности трипугиита и касситерита из возгонов активных фумарол вулкана Толбачик (Камчатка, Россия) // Записки Российского минералогического общества. 2020. Ч. 149. Вып. 2. С. 22–41. DOI: 10.31857/S0869605520020070 [RINC 0.408] Доля участия 0.7. Объем 1.25 печ. л.

4. **Сандалов Ф.Д.**, Щипалкина Н.В., Пеков И.В., Кошлякова Н.Н., Бритвин С.Н., Сидоров Е.Г. Кристобалит и тридимит из отложений фумаролы Арсенатная (вулкан Толбачик, Камчатка, Россия) // Вестник Московского университета. 2021 . Серия 4: геология. Вып. 2. С. 87–96. DOI: 10.33623/0579-9406-2021-2-87-96 [RINC 0.376] Доля участия 0.7. Объем 0.63 печ. л.

5. **Сандалов Ф.Д.**, Пеков И.В., Кошлякова Н.Н., Ксенофонтов Д.А., Жегунов П.С. Псевдобрукит из активных фумарол вулканического массива Толбачик (Камчатка). Состав и типохимизм минералов группы псевдобрукита // Записки Российского

минералогического общества. 2023. Ч. 152. Вып. 2. С. 31–59. DOI: 10.31857/S0869605523020065 [RINC 0.408] Доля участия 0.7. Объём 1.81 печ. л.

6. Shchipalkina N.V., Vereshchagin O.S., Pekov I.V., Belakovskiy D.I., Koshlyakova N.N., Shilovskikh V.V., Pankin D.V., Britvin S.N., **Sandalov F.D.**, Sidorov E.G. Ryabchikovite, $\text{CuMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$, a new pyroxene group mineral, and some genetic features of natural anhydrous copper silicates // American Mineralogist. 2023. Vol. 108. N 7. P. 1399–1408. DOI: 10.2138/am-2022-8620 [Impact Factor JIF 3.500] Доля участия 0.1. Объём 0.63 печ. л.

7. **Сандалов Ф.Д.**, Пеков И.В., Кошлякова Н.Н., Латышев А.В., Жегунов П.С. Эксгалиционный гематит из фумарол вулкана Толбачик (Камчатка): типохимизм, морфогенетические особенности и взаимоотношения с другими минералами // Записки Российского минералогического общества. 2023. Ч. 152. Вып. 4. С. 16–46. DOI: 10.31857/S0869605523040081 [RINC 0.408] Доля участия 0.7. Объём 1.94 печ. л.

На автореферат поступило 12 дополнительных отзывов, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обоснован их высокой компетентностью и авторитетом в области минералогии, кристаллографии и геохимии, а также наличием публикаций в высокорейтинговых научных журналах в соответствующей сфере исследования за последние 5 лет.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук является научно-квалификационной работой, в которой автором получен ряд научно значимых результатов, из которых можно выделить следующие:

- 1) Впервые комплексно и систематически охарактеризована фумарольная оксидная минерализация: получены и обобщены минералогические данные о 23 оксидах. Показано, что они в основном представлены распространёнными в других геологических формациях представителями "обычных" групп минералов (группы гематита, рутила, шпинели, псевдобрукита), однако обладают необычным химическим составом – содержат здесь значительные количества (как правило, целые мас. %) халькофильных элементов – Cu, Sn, Sb, Te, что нехарактерно для этих минералов в других геологических обстановках.
- 2) Впервые изучены минералы группы рутила из фумарол Толбачика, представленные касситеритом, рутилом и трипугиитом необычного состава. На данном материале впервые установлено, что между этими минералами в природе реализуется протяженная, пусть и с разрывами, тройная система твёрдых растворов $\text{TiO}_2\text{--SnO}_2\text{--}(\text{Fe}^{3+}_{0.5}\text{Sb}^{5+}_{0.5})\text{O}_2$, включающая в т.ч. члены с сопоставимыми содержаниями всех трёх компонентов. Для касситерита описаны две новые химические разновидности –

высокотитанистая и высокосурьмяная, а для рутила – высокооловянная. В рутиле и касситерите впервые отмечена значимая примесь меди (до 1.9 мас. % CuO в рутиле). Открыта теллуровая разновидность рутила (до 11.3 мас. % TeO₃; примесь Te ранее не была известна ни в природном рутиле, ни в синтетическом TiO₂), установлен кристаллохимический механизм вхождения Te в рутил.

- 3) Впервые в природе установлены и детально охарактеризованы богатые медью (до 29 мас. % CuO) оксидные шпинелиды. С участием автора открыт новый минерал термаэрогенит CuAl₂O₄ и впервые зафиксирована купрошпинель CuFe₂O₄ природного происхождения: ранее ее находки были достоверно известны только в техногенных объектах. Выявлены и изучены высокомедистые разновидности семи шпинелидов: ганита, магнезиоферрита, франклинита, шпинели, цинкохромита, магнезиохромита и хромита (1–15 мас. %, а для ганита до 21.4 мас. % CuO). Установлены три новых серии природных твёрдых растворов: ганит–термаэрогенит (непрерывная в поле составов Ghn₇₅Tag₂₅–Ghn₃₅Tag₆₅), термаэрогенит–купрошпинель и магнезиоферрит–купрошпинель (обе с существенным разрывом в поле купрошпинели). Показано, что медь входит в оксидные шпинелиды согласно простой, но новой для минералов этой группы изоморфной схеме $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{A}^{2+}$, где видообразующие катионы $\text{A}^{2+} = \text{Mg}, \text{Zn}$, а для хромита – Fe.
- 4) Показано, что оксиды в фумарольных системах окислительного типа являются главными концентраторами не только Fe (в форме гематита), но также Ti, Sn и Sb. Установлено, что ведущим концентратором олова выступает гематит, титан преимущественно распределён между гематитом, псевдобрукитом и членами группы рутила, а главными носителями олова и сурьмы являются оксиды группы рутила (как собственные минералы этих элементов – касситерит и трипугиит соответственно, так и богатые Sn и Sb разновидности рутила).
- 5) На примере фумаролы Арсенатная показано, что распределение оксидных минералов, в т.ч. их богатых халькофильными компонентами разновидностей, закономерно меняется с температурой. В наиболее высокотемпературной зоне (650–850 °C) этой фумаролы присутствуют не содержащие примесей халькофильных элементов гематит и магнезиоферрит, затем при снижении температуры появляются шпинель и касситерит, далее в среднетемпературной зоне (400–700 °C) возникает наибольшее разнообразие оксидов Fe, Al, Mg, Ti, Zn, включая их наиболее богатые Cu, Sn, Sb, Te разновидности, а также тридимит и кристобалит. При дальнейшем снижении температуры эта ассоциация сменяется в основном теноритом и медьсодержащим

гематитом, а в приповерхностных низкотемпературных зонах ($< 300\text{ }^{\circ}\text{C}$) развиты лишь опал и тонкодисперсный гематит.

- 6) В отложениях толбачинских фумарол впервые надёжно зафиксированы мартит и реликты магнетита в нём. Это позволило сделать вывод об изменении окислительно-восстановительного режима в ходе минералообразования – повышении окислительного потенциала со временем.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1) В отложениях высокотемпературных ($> 300\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$) фумарол окислительного типа на вулкане Толбачик (Камчатка) формируется обильная, разнообразная и специфичная в части химического состава оксидная минерализация. Оксиды представлены здесь преимущественно минералами групп гематита, рутила, шпинели и псевдобрукита, которые содержат значительные (зачастую целые мас. %) примеси халькофильных элементов – Cu, Sn, Sb, Te. Эта особенность химического состава фумарольных оксидов является их главным типоморфным признаком.

2) В минералах группы рутила фумарольного генезиса реализуется необычно широкий изоморфизм Ti^{4+} с высоковалентными катионами халькофильных элементов, причем не только с Sb^{5+} , но также с Sn^{4+} и Te^{6+} . В этих условиях формируется протяженная тройная система твёрдых растворов рутил–трипугит–касситерит: $\text{TiO}_2\text{--SnO}_2\text{--}(\text{Fe}^{3+}_{0.5}\text{Sb}^{5+}_{0.5})\text{O}_2$, включающая в т.ч. члены с сопоставимыми содержаниями всех трёх компонентов. Вхождение теллура в рутил осуществляется по схеме $\text{Te}^{6+} + 2\text{Fe}^{3+} \rightarrow 3\text{Ti}^{4+}$.

3) Оксидные шпинелиды в отложениях фумарол Толбачика характеризуются широким видовым и химическим разнообразием. Все фумарольные шпинелиды проявляют сильную тенденцию к обогащению медью, уникальную для этих минералов. Медь входит в них согласно новой для природных оксидных шпинелидов схеме $\text{Cu}^{2+} \leftrightarrow \text{A}^{2+}$, где главные видообразующие катионы $\text{A}^{2+} = \text{Mg, Zn}$. Обогащенность медью типична для всех фумарольных шпинелидов: здесь зафиксированы два собственно медных и семь медьсодержащих шпинелидов – новый минерал термаэрогенит CuAl_2O_4 , купрошпинель CuFe_2O_4 и медьсодержащие разновидности шпинели, ганита, магнезиоферрита, франклинита, магнезиохромита, хромита и цинкохромита.

4) Оксиды в отложениях толбачинских фумарол окислительного типа являются ведущими концентраторами не только Fe (в форме гематита), но также Ti, Sn и Sb. Олово преимущественно концентрируется в виде примеси в гематите, тогда как роль минералов

группы рутила, включая касситерит, второстепенная. Титан в основном распределён между гематитом, псевдобрукитом и минералами группы рутила. Для сурьмы наиболее важными концентраторами являются минералы группы рутила при подчиненной роли гематита.

На заседании 22 декабря диссертационный совет принял решение присудить Сандалову Федору Дмитриевичу ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человека, из них 9 докторов наук по специальности 1.6.4. – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» (по геолого-минералогическим наукам), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за - 22, против -0, недействительных бюллетеней - 0.

Председательствующий:

Заместитель председателя диссертационного совета МГУ.016.5

Доктор химических наук, член-корреспондент РАН _____

/Еремин Н.Н./

Ученый секретарь

диссертационного совета МГУ.016.5

доктор химических наук, профессор _____

Белоконева Е.Л.

22.12.2023