

***Заключение диссертационного совета МГУ.016.5 по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.***

Решение диссертационного совета от 12 мая 2023 г., протокол № 58 о присуждении Бенделиани Александре Алексеевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация «Взаимодействие перидотита и материала океанической коры в условиях мантии Земли: результаты экспериментов» по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология (геолого-минералогические науки) принята к защите диссертационным советом МГУ.016.5 3 апреля 2023 года, протокол № 54.

Соискатель Бенделиани Александра Алексеевна, 1997 года рождения, в 2022 году окончила аспирантуру очной формы обучения ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» по направлению подготовки 05.06.01 «Науки о Земле» направленность «Петрология, вулканология» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь». С 2022 года работает на кафедре петрологии и вулканологии геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» на должности инженера.

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

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор РАН, профессор кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» Бобров Андрей Викторович.

**Официальные оппоненты:**

**Зедгенизов Дмитрий Александрович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, ФГБУН Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого УрО РАН, директор;

**Сокол Александр Григорьевич**, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, главный научный сотрудник;

**Шацкий Антон Фарисович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, главный научный сотрудник

**дали положительные отзывы на диссертацию.**

Соискатель имеет 7 опубликованных работ, все из которых по теме диссертации и опубликованы в российских и зарубежных рецензируемых научных изданиях,

рекомендованных для публикации работ к защите в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.3 – «Петрология, вулканология» (геолого-минералогические науки), а также тезисы 17 докладов в сборниках международных и российских конференций.

**Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности:**

1. Матросова Е.А., **Бенделиани А.А.**, Бобров А.В., Каргальцев А.А., Игнатъев Ю.А. Фазовые отношения при плавлении модельного пиролита в связи с проблемой образования высокохромистых гранатов (эксперимент при 2.5, 3.0 и 7.0 ГПа и 1400-1800°C. Геохимия. 2019. Т. 64, №9, С. 974-985. DOI: [10.31857/S0016-7525649974-985](https://doi.org/10.31857/S0016-7525649974-985) (1 авт.л.) [*Импакт-фактор RINC 1.493*] Доля участия 0.5.

2. Еремин Н.Н., Гостищева Н.Д., Бобров А.В., **Бенделиани А.А.**, Бурова А.И. Оценка вхождения ионов  $Ti^{4+}$  в состав мантийных гранатов: результаты атомистического моделирования // Кристаллография. 2021. Т. 66, №1. С. 48-51. DOI: [10.31857/S0023476121010057](https://doi.org/10.31857/S0023476121010057) (0.32 авт.л.) [*Импакт-фактор RINC 0.89*] Доля участия 0.3.

3. Bindi L., **Bendeliani A.**, Bobrov A., Matrosova E., Irifune T. Incorporation of Mg in Phase Egg,  $AlSiO_3OH$ : Toward a new polymorph of Phase H,  $MgSiH_2O_4$ , a carrier of water in the deep mantle // American Mineralogist. 2020. V. 105. P. 132-135. DOI: [10.2138/am-2020-7204](https://doi.org/10.2138/am-2020-7204) (0.57 авт.л.) [*Impact Factor JCR 3.07*] Доля участия 0.5.

4. Bindi L., Welch M.D., **Bendeliani A.A.**, Bobrov A.V. Si-rich Mg-sursassite  $Mg_4Al_5Si_7O_{23}(OH)_5$  with octahedrally-coordinated Si: a new ultra-high-pressure hydrous phase // American Mineralogist. 2020. V. 105. P. 1432-1435. DOI: [10.2138/am-2020-7533](https://doi.org/10.2138/am-2020-7533) (0.57 авт.л.) [*Impact Factor JCR 3.07*] Доля участия 0.3.

5. **Bendeliani A.A.**, Bobrov A.V., Bindi L., Eremin N.N. Ti and Cr in high-pressure mica: Experimental study and application to the mantle assemblages // Petrology. 2022. V. 30. Suppl. 1. P. S157-S173. DOI: [10.1134/S0869591123010113](https://doi.org/10.1134/S0869591123010113). (1.54 авт.л.) [*Impact Factor JCR 1.3*] Доля участия 0.8.

6. **Bendeliani A.A.**, Eremin N.N., Bobrov A.V. Mechanisms and conditions of Ti and Cr incorporation in mantle phlogopite: the results of atomistic simulation // Physics and Chemistry of Minerals. 2023. V. 50. N. 8. DOI: [10.1007/s00269-023-01232-x](https://doi.org/10.1007/s00269-023-01232-x). (1.38 авт.л.) [*Impact Factor JCR 1.75*] Доля участия 0.8.

7. Bobrov A.V., Tamarova A.P., Bindi L., Matrosova E.A., **Bendeliani A.A.**, Kogarko L.N., Irifune T. Na-bearing bridgmanite: Synthesis, phase relations and application to the origin of alkaline melts in the uppermost lower mantle // Lithos. 2023. V. 444-445. N. 107101. DOI: [10.1016/j.lithos.2023.107101](https://doi.org/10.1016/j.lithos.2023.107101) (1.35 авт.л.) [*Impact Factor JCR 4.02*] Доля участия 0.3.

Выбор официальных оппонентов обоснован их высокой компетентностью в области петрологии и минералогии, наличием публикаций необходимого научного уровня за

последние 5 лет и высокой степенью квалификации в области исследований соискателя. Всё это позволяет им адекватно оценить значимость и содержание диссертации соискателя.

На диссертацию и ее автореферат поступило **13 дополнительных отзывов** от:

- **Дымшиц А.М.**, к.г.-м.н., с.н.с. лаб. петрологии, геохимии и рудогенеза; ФГБУН Институт земной коры СО РАН

- **Ефимченко В.С.**, к.ф.-м.н., зав. лаб. физики высоких давлений; ФГБУН Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна РАН

- **Жимулева Е.И.**, д.г.-м.н., с.н.с. лаб. экспериментальной петрологии; ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН)

- **Каминского Ф.В.**, д.г.-м.н., профессора, чл.-корр. РАН, г.н.с.; ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН

- **Корсакова А.В.**, д.г.-м.н., г.н.с. ФГБУН Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН)

- **Костровицкого С.И.**, с.н.с. д.г.-м.н., с.н.с. лаб. 18.1 (лаб. основного и ультраосновного магматизма); ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН

- **Пальянова Ю.Н.**, д.г.-м.н., чл.-корр. РАН, зав. лаб. экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, **Баталевой Ю.В.**, д.г.-м.н., с.н.с. лаб. экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН;

- **Радомской Т.А.**, к.г.-м.н., н.с. лаб. физико-химической петрологии и генетической минералогии ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН; **Шендрика Р.Ю.**, к.ф.-м.н., с.н.с. лаб. физики монокристаллов ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН; **Каневой Е.В.**, к.г.-м.н., с.н.с. лаб. рентгеновских методов анализа ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН;

- **Скузоватова С.Ю.**, к.г.-м.н., зам. директора по научной работе; ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (ИГХ СО РАН)

- **Туркина А.И.**, с.н.с. д.г.-м.н., с.н.с. лаб. экспериментальной петрологии; ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН

- **Уляшева В.В.**, к.г.-м.н., н.с. лаб. минералогии алмаза; Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина Коми научного центра УрО РАН

- **Чепурова А.А.**, д.г.-м.н., с.н.с. лаб. экспериментальной петрологии; ФГБУН Институт геологии и минералогии им В.С. Соболева СО РАН (ИГМ СО РАН)

- **Шумиловой Т.Г.**, д.г.-м.н., г.н.с., зав. лаб. минералогии алмаза; Институт геологии им. академика Н.П. Юшкина Коми научного центра УрО РАН

**Все отзывы положительные.**

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук является научно-квалификационной работой, в результате которой получен ряд научно значимых результатов, среди которых можно выделить следующее.

В работе впервые выполнены эксперименты, моделирующие корово-мантийное взаимодействие (осадочного и мантийного субстратов) на глубинах, соответствующих переходной зоне и нижней мантии Земли. В ходе экспериментального моделирования определены минеральные ассоциации, указывающие на возможность образования водосодержащих высокоглиноземистых фаз при участии корового (метаосадочного) субстрата при давлениях 18, 24 ГПа. В частности, были синтезированы некоторые новые высокоплотные водосодержащие магнезиальные силикаты, уточнены особенности их состава и структуры. Уточнена диаграмма фазовых трансформаций океанических осадков в диапазоне глубин от 220 до 670 км. Предложены принципиально новые реакции образования водосодержащих фаз, обсуждаемые в рамках анализа межфазового распределения главных и примесных элементов. Определены признаки корово-мантийного взаимодействия в ходе субдукции океанического осадка на мантийные глубины. В результате изучения систем перидотит/базальт+K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O с добавлением Cr и Ti экспериментально установлена возможность образования титансодержащей слюды в результате привноса корового материала в мантию Земли в ходе субдукции, выявлены индикаторные особенности флогопита по содержанию примесных элементов. Впервые установлены ограничения на вхождение ионов Ti<sup>4+</sup> и Cr<sup>3+</sup> во флогопит в диапазоне 1–7 ГПа и 100–1300°C по восьми изоморфным схемам.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты:

1. Взаимодействие мантийного вещества с материалом океанического осадка в ходе субдукции приводит к исчезновению полиморфов (Mg,Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, образованию стишовита, карбоната и широкого спектра глиноземистых водосодержащих фаз. Поступление воды на глубину осуществляется посредством смены ассоциаций высокоплотных водосодержащих силикатов, сопровождается расширением набора этих фаз и увеличением их общей емкости по содержанию воды в сравнении с менее глубинными мантийными горизонтами.

2. Твердые растворы высокобарных фаз (бриджманит, фазы *D* и *Egg*) являются индикаторами состава протолита на различных мантийных глубинах. Помимо низкого отношения Cr/Ti, на наличие коровой составляющей в мантийных породах может указывать компонентный состав минералов: присутствие (Mg,Fe)TiO<sub>3</sub>, (Mg,Fe,Al)(Al,Si)O<sub>3</sub> в бриджманитах, (Na<sub>2</sub>Ca)Ti<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> – в высокобарных гранатах, NaAlSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>,

$\text{Na}(\text{Mg}_{0.5}\text{Ti}_{0.5})\text{Si}_2\text{O}_6$ ,  $\text{CaTi}^{4+}\text{Al}_2\text{O}_6$  – в пироксенах,  $\text{MgAlSiO}_6\text{H}_3$  – в фазе *D*. Корово-мантийное взаимодействие приводит к формированию минеральной ассоциации, близкой к вебстеритовому парагенезису.

3. Содержания примесей хрома и титана в высокобарических слюдах и их кристаллохимические особенности определяются долей корового вещества в областях развития мантийного метасоматоза и являются индикаторами минеральных парагенезисов. Наиболее вероятными схемами вхождения во флогопит ионов  $\text{Ti}^{4+}$  и  $\text{Cr}^{3+}$  в условиях мантии Земли являются:  ${}^{\text{VI}}(\text{Mg}^{2+}) + 2{}^{\text{IV}}(\text{Si}^{4+}) = {}^{\text{VI}}(\text{Ti}^{4+}) + 2{}^{\text{IV}}(\text{Al}^{3+})$  и  ${}^{\text{VI}}(\text{Mg}^{2+}) + 2{}^{\text{IV}}(\text{Al}^{3+}) = {}^{\text{VI}}(\square) + 2{}^{\text{IV}}(\text{Ti}^{4+})$ ;  ${}^{\text{VI}}(\text{Mg}^{2+}) + {}^{\text{IV}}(\text{Si}^{4+}) = {}^{\text{VI}}(\text{Cr}^{3+}) + {}^{\text{IV}}(\text{Al}^{3+})$  и  $3{}^{\text{VI}}(\text{Mg}^{2+}) = {}^{\text{VI}}(\text{Al}^{3+}) + {}^{\text{VI}}(\text{Cr}^{3+}) + {}^{\text{VI}}(\square)$ . Значительное уменьшение отношения  $\text{Mg}/(\text{Al}+\text{Ti})$  в мантийном веществе за счет поступления корового материала препятствует образованию флогопита, вместо которого появляется Ti-содержащая диоктаэдрическая слюда.

На заседании 12 мая 2023 года диссертационный совет МГУ.016.5 принял решение присудить Бенделиани Александре Алексеевне учёную степень кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3. – «петрология, вулканология» (геолого-минералогические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 21 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.6.3 – «Петрология, вулканология» (по геолого-минералогическим наукам), участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета (дополнительно введены на разовую защиту 0 человек), проголосовали:

«за» – 21, «против» – 0, недействительных бюллетеней – 0.

#### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

диссертационного совета МГУ.016.5  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, чл.-корр. РАН

**Пеков И.В.**

#### УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

диссертационного совета МГУ.016.5  
доктор химических наук, профессор

**Белоконева Е.Л.**

12 мая 2023 года