

Соискатель: **СОБОЛЕВ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ**

Тема диссертационной работы:

«СТРУКТУРНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ДИНАМИКИ ОБРАЗОВАНИЯ КУМУЛАТОВ В РАССЛОЕННЫХ ИНТРУЗИВАХ»

Шифр и наименование научной специальности и отрасли науки, по которым выполнена диссертация: 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

На заседании **21 МАЯ 2025 ГОДА ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ 24.1.195.02** на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук **ПРИНЯЛ РЕШЕНИЕ: ПРИСУДИТЬ СОБОЛЕВУ СЕРГЕЮ НИКОЛАЕВИЧУ** УЧЕНУЮ СТЕПЕНЬ **КАНДИДАТА ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ НАУК** ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ **МИНЕРАЛОГИЯ, КРИСТАЛЛОГРАФИЯ. ГЕОХИМИЯ, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ** за разработку методики изучения кумулятивных магматических пород, сочетающую структурный, геохимический, онтогенетический и термодинамический подходы и аргументацию на ее базе таких особенностей кристаллизации кумулатов как высокое первичное переохлаждение, компакция путем растворения под давлением, формирование позднего неравновесного расплава и воздействие его на первичный кумулус, а также роли полибарической эволюции магм в формировании структуры кумулатов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **20** человек, включая **12** докторов наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (отрасль наук – геолого-минералогические науки), участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – **19**, против – **0**, недействительных бюллетеней – **1**.

(Протокол № 6 от 21.05.2025).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.195.02,

созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.05.2025, № 6

О присуждении **Соболеву Сергею Николаевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация **«Структурно-геохимические свидетельства динамики образования кумулатов в расслоенных интрузивах»** по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых принята к защите 18 марта 2025 г., протокол № 4, диссертационным советом 24.1.195.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской Академии наук (ГЕОХИ РАН), 119991, ГСП-1 г. Москва, ул. Косыгина, д.19, утвержденного приказом Минобрнауки РФ №2135/нк от 27.11.2023.

Соискатель **Соболев Сергей Николаевич**, «22» ноября 1996 года рождения, в 2019 г. окончил Геологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по направлению 05.03.01 Геология с присвоением степени бакалавра. В 2021 году соискатель окончил Геологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова по направлению 05.04.01 Геология с присвоением степени магистра. С «1» октября 2021 года по «30» сентября 2024 гг. соискатель обучался в очной аспирантуре 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) по направлению Науки о Земле по профилю Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, где после окончания ему была присвоена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь». Во время подготовки диссертации соискатель работал в должности младшего научного сотрудника (с 2021 по 2024 год) и позднее научного сотрудника (с 2024 года по настоящее время) в лаборатории термодинамики и математического моделирования природных процессов ГЕОХИ РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории термодинамики и математического моделирования природных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук Арискин Алексей Алексеевич, профессор кафедры петрологии и вулканологии Геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», ведущий научный сотрудник ГЕОХИ РАН.

Официальные оппоненты:

Симакин Александр Геннадьевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией физико-химических проблем магматизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского Российской академии наук (ИЭМ РАН),

Изох Андрей Эмильевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории петрологии рудоносности магматических формаций Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева (ИГМ СО РАН),

дали **положительные отзывы** на диссертацию.

Ведущая организация. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии российской академии наук (ИГЕМ РАН), г. Москва в своем **положительном отзыве**, подписанном заведующей лабораторией геохимии Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, кандидатом геолого-минералогических наук Юдовской Мариной Александровной и заведующей лабораторией петрографии Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, доктором геолого-минералогических наук Носовой Анной Андреевной, указала, что диссертационная работа Сергея Николаевича Соболева является выдающимся петроструктурным исследованием, построенном на синтезе и актуализации критически рассмотренных существующих моделей формирования магматических камер, научная новизна достижений диссертанта не вызывает сомнений, защищаемые положения полностью обоснованы, в полной мере отражены в публикациях и автореферате, а также представлены автором в 24 докладах на международных и российских конференциях в период с 2018 по 2025 гг, диссертация «Структурно-геохимические свидетельства динамики образования кумулатов в расслоенных интрузивах» отвечает требованиям и критериям, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., №842 для ученой степени кандидата наук, а ее автор, Соболев Сергей Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. - Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Обсуждение диссертационной работы Соболева Сергея Николаевича состоялось в лаборатории петрографии и лаборатории геохимии ИГЕМ РАН, одним из основных направлений научно-исследовательской деятельности которых является изучение щелочного и базитового магматизма и связанного с последним сульфидного оруденения.

Отзыв организации на диссертационную работу Соболева Сергея Николаевича заслушан и одобрен в качестве официального на расширенном заседании лаборатории петрографии Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, протокол № 8 от 17 апреля 2025 года.

Соискатель имеет 27 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 21 работ, из них в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах Web of Science, Scopus и рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (К1), опубликовано 5 работ.

В работах по теме диссертации представлены эмпирические результаты по количественным характеристикам структур ультраосновных и щелочных кумулатов, зональности оливина, нефелина, апатита, лопарита. Результаты, представленные в публикациях, имеют фундаментальный характер, вносят вклад в развитие наших знаний в области динамики и кинетики базитовых и щелочных магм; они позволяют рассматривать фосфор как индикатор режима роста оливина и переохлаждения магмы, а так же использовать его в более широком смысле. В публикациях также представлена кинетическая модель образования логлинейного CSD, как базового первично ростового распределения при кристаллизации силикатных расплавов.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах Соболева С.Н.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Соболев С.Н., Арискин А.А., Николаев Г.С., Пшеницын И.В. Три типа распределения кристаллов оливина по размеру в дунитах Йоко-Довыренского массива как сигналы различной истории их кристаллизации // Петрология. 2024. Т. 32. № 4. С. 509-526.
2. Соболев С.Н., Арискин А.А., Николаев Г.С., Пшеницын И.В. Распределения кристаллов по размеру как ключ к эволюции протокумулуса в расслоенных массивах: эксперименты, расчеты и практика определения CSD // Петрология. 2023. Т. 31. № 6. С. 649–665.
3. Ariskin A.A., Tessalina S.G., Kostitsyn Y.A., Pshenitsyn I.V., Sobolev S.N., Nikolaev G.S., Kislov E.V. Re-Os Systematics in the Layered Rocks and Cu-Ni-PGE Sulfide Ores from the Dovyren Intrusive Complex in Southern Siberia, Russia: Implications for the Original Mantle Source and the Effects of Two-Stage Crustal Contamination // Minerals. 2023. V. 13 P. 1356. DOI: 10.3390/min13111356.
4. Pshenitsyn I.V., Ariskin A.A., Korost D.V., Sobolev S.N., Yapaskurt V.O., Nikolaev G.S., Kislov E.V. X-ray Computed Tomography of PGE-Rich Anorthosite from the Main Reef of the Yoko–Dovyren Layered Massif // Minerals. 2023. V.13. P. 1307. DOI: 10.3390/min13101307.
5. Арискин А.А., Данюшевский Л.В., Фиорентини М., Николаев Г.С., Кислов Е.В., Пшеницын И.В., Япаскурт В.О., Соболев С.Н. Петрология, геохимия и происхождение сульфидоносных и эпг-минерализованных троктолитов из зоны Конникова в Йоко-Довыренском расслоенном интрузиве// Геология и геофизика. 2020 Т. 61. № 5—6. С. 748—773.

На автореферат и диссертацию поступило 9 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.

Положительные отзывы без замечаний поступили от:

Михайловой Юлии Александровны, кандидата геолого-минералогических наук, ведущего научного сотрудника Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр РАН», г. Апатиты

Голионко Борис Глебович, кандидата геолого-минералогических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории геодинамики позднего докембрия и фанерозоя ГИН РАН, г. Москва

Положительные отзывы с вопросами, замечаниями и рекомендациями поступили от:

Грошева Николая Юрьевича, кандидата геол.-мин. наук, ведущего научного сотрудника Геологического института КНЦ РАН, г. Апатиты:

- В порядке дискуссии к третьему защищаемому положению возникают следующие несколько вопросов. Не вполне понятно, какие установленные в Довыренском и Мончегорском интрузивах процессы использует автор, описывая вынос рассеянных С и, Ni и S сульфидным расплавом, а Cr и Al - хромшпинелидом. Во-первых, обеднение дунитов сульфидами Си и Ni может быть объяснено кристаллизацией из недосыщенного серой наиболее примитивного расплава. Считает ли автор, что предполагаемый им процесс выноса халькофильных элементов из дунитов имеет отношение к формированию сульфидного оруденения? Во-вторых: как увязывается вынос Cr из дунитов в результате воздействия (цитата) «неравновесного силикатного расплава на первичный кумулус» с образованием хромитового оруденения?

- Недостатком работы, на взгляд рецензента, можно признать слабую опору на проблемы, считавшиеся предшественниками важнейшими для петрологии изученных интрузивов. Например, интересно было бы узнать, какое у автора сложилось

представление о Дунитовом блоке Мончеплутона: это крупный автолит, представляющий кумулаты ранней магмы, или отдельная циклическая единица в обобщенном разрезе?

Рундквист Татьяны Васильевны, кандидата геол.-мин. наук, ведущего научного сотрудника Геологического института КНЦ РАН, г. Апатиты:

- Возражения вызывает интерпретация данных по Мончегорскому комплексу, где автор полностью опирается на гипотезу о том, что глубинные перидотиты из скважины М1 представляют собой закристаллизованный фрагмент подводящей магматической системы (Смолькин и др., 2022). Однако данная элегантная концепция пока не получила достаточного подтверждения и не может быть окончательно верифицирована на основе имеющегося материала. В рамках дискуссии возникает вопрос: не указывает ли сходство CSD-кривых оливина в Дунитовом блоке и скв. М1 на принадлежность ультрамафитов к единому расслоенному комплексу? Получены ли в работе дополнительные свидетельства того, что ультрамафиты скв. М1 представляют собой подводящий канал?

Балтыбаева Шаукета Каимовича, доктора геол.-мин. наук, главного научного сотрудника, зав. лаб. Петро- и рудогенеза ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург:

- В качестве замечания (и вопроса) отмечу лишь то, что при знакомстве с работой у меня, читателя, возникала мысль: «А не будут ли и в других интрузиях (другого состава и в т.ч. нестратифицированных) наблюдаться все эти три главных типа распределения? Может ли в таком случае «линейное», «бимодальное», «логнормальное» распределение CSD тогда иметь иную природу?». Возможно, что диссертант сразу знает ответ на этот вопрос, а может такая постановка вопроса побудит его для продолжения этих крайне интересных исследований с привлечением других природных объектов.

Азимова Павла Яковлевича, кандидата геолого-минералогических наук, старшего научного сотрудника Лаборатории петро- и рудогенеза ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург:

- В работе предполагается монотонное изменение скорости кристаллизации и общей неравновесности (переохлаждения). Однако осцилляционная зональность оливина по ряду элементов и осцилляции ширины секторов роста разных граней указывают, что большое значение при кристаллизации имели также процессы в ближних окрестностях кристалла - в частности, отравление растущей поверхности кристалла. В этом случае скорость роста граней тоже меняется немонотонно, а величина неравновесности может также значительно меняться и от кристалла к кристаллу, и даже возле одного кристалла. Об этом же свидетельствуют признаки скелетного роста. Как такие осцилляции скорости роста и вариации неравновесности должны сказываться на общем распределении CSD?

- Автор отмечает взаимодействие уже сформированных кристаллов с расплавом. Роль такого взаимодействия велика при изменении РТ-условий - как в ходе остывания расплава в магматической камере, так и при перемещения расплавом кумулюсных кристаллов. В этом случае можно ожидать изменение кумулюсных кристаллов по механизму "сопряжённые растворение и рост" - замещение уже сформированных кристаллов тем же минералом, но с другим соотношением компонентов твёрдого раствора. Такой процесс должен быть подобен тому, что наблюдается при взаимодействии кристаллов и водного раствора / флюида (А.Э. Гликин; А. Putnis), сходны должны быть и структуры замещения. Видны ли признаки подобных замещений в анатомии кристаллов?

- Не пытался ли автор оценить возможное изменение РТ -условий по равновесиям кумулюсного минерала с включениями (например, шпинели) в разных зонах и секторах роста? Если да, то есть ли заметная разница, превышающая погрешности РТ - оценки?

- Использовал ли автор в своём анализе модели массовой кристаллизации, которые детально разрабатывались химиками и кристаллографами для разных условий и механизмов кристаллизации? Кажется, что анализ таких моделей может быть полезен при решении поставленных задач.

- Предполагаются ли в дальнейшем исследования базитов и ультрабазитов с кумулатами другого состава - например, ортопироксеновыми, плагиоклазовыми, а также с полимиперальными (скажем, ортопироксен + клинопироксен ± оливин)?

Скобленко Анфисы Владимировны, кандидата геол.-мин. наук, старшего научного сотрудника лаборатории геодинамики позднего докембрия и фанерозоя Геологического института РАН, г. Москва:

- Исходя из содержания работы, предполагается, что формирование оливина в кумулатах Йоко-Довыренского, Мончегорского и Ловозерского расслоенных массивов связано с несколькими этапами кристаллизации: первичной нуклеацией, затем вторичным по отношению к первичной нуклеации ростом новообразованного оливина, а также частичным растворением и последующим доращением оливина, что хорошо проявлено в зональностях распределения фосфора и некоторых других компонентов в кристаллах оливина. Последний этап автор объясняет перитектическим превращением при взаимодействии первичного оливина с расплавом с последующей кристаллизацией ортопироксена в условиях частичного растворения оливина. В то же время, подобные свидетельства частичного растворения отмечаются и для оливина из фактически мономинеральных дунитов, преобразование которых так же, по-видимому, включало взаимодействие с расплавом, однако предположение о перитектической природе реакций растворения в этом случае требует дополнительного обоснования.

- Исходя из данных, представленных в автореферате, минеральные ассоциации кумулатов изученных расслоенных массивов нередко включают сосуществующие хромшпинелид и плагиоклаз. Из содержания работы остается неясным последовательность кристаллизации этих минералов, принимая во внимание роль неравновесного силикатного расплава в процессе кристаллизационной эволюции с выносом рассеянных минеральных фаз. Можно ли делать выводы об ограничении параметров давления для формирования плагиоклазшпинелевой ассоциации? Можно ли связывать присутствие ламелей хромита в оливине с декомпрессией на фоне адиабатического подъема магмы?

Шкурского Бориса Борисовича, к.г.-м.н., доцента кафедры Петрологии и вулканологии МГУ, г. Москва:

- Вопрос методологического характера: Часть особенно тонких различий, выделенных автором в наблюдаемых распределениях, и отнесённых к таким процессам, как, например, сортитровка, в принципе могут оказаться «наведёнными» в результате применения обсуждаемых стереологических поправок. Отсюда вопрос: какие именно процессы, ответственные за главные различия в распределениях кристаллов по размеру, можно считать установленными достоверно, а какие лишь предположительно, учитывая тот факт, что часть различий в выделенных типах распределений находится на уровне «шума», связанного, возможно, с несовершенством методов современной стереологии?

Кислова Евгения Владимировича, к.г.-м.н., снс, доцента, ведущего научного сотрудника лаборатории металлогении и рудообразования Геологического института им. Н.Л. Дobreцова СО РАН, г. Улан-Удэ:

- в автореферате не указано, какая методика применялась - очевидно, это авторская методика изучения шлифов, но это надо было описать.

В целом, в поступивших отзывах отмечается, что представленные замечания не снижают научной значимости работы. Работа в полной мере соответствует п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор Соболев Сергей Николаевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Выбор **официальных оппонентов** обосновывается тем, что они являются известными специалистами в области геохимии и петрологии расслоенных интрузивов, экспериментальной минералогии и моделирования внутрикамерных процессов и

кинетических аспектов кристаллизации магм, имеют большой геологический опыт. Все оппоненты являются авторами большого числа публикаций, соответствующих тематике диссертационной работы и опубликованных в ведущих российских и международных изданиях. Выбор **ведущей организации** обосновывается тем, что в ней работают высококвалифицированные специалисты в области геохимии рудных месторождений и петрографии. Регулярно выходят статьи в ведущих журналах, соответствующие тематике диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований, внесен вклад в решение ряда проблем динамики образования кумулатов базитовых и щелочных магм, и сделан ряд важных наблюдений в области их кинетики кристаллизации в расслоенных интрузивах, в том числе:

- Впервые для кумулатов из Йоко-Довыренского, Мончегорского и Ловозерского интрузивов приводятся надежные данные по распределениям кумулусных кристаллов по размеру - CSD (всего 120 распределений). На основании анализа полученной гранулометрии показано, что распределения представляют три главных типа: логлинейное, бимодальное и логнормальное, но также имеют более тонкие черты, индикаторные для расшифровки магматического процесса.

- Впервые для Йоко-Довыренского и Мончегорского интрузивов установлена корреляция CSD оливина в дунитах и валового содержания в них рудных компонентов (Cu, Ni, ЭПГ, Cr). Обоеднение рудными компонентами наблюдается в кумулатах с логнормальным CSD оливина, образованном при частичном растворении кристаллической популяции, и интерпретировано как результат воздействия на первичный кумулулс более позднего неравновесного расплава.

- На примере Йоко-Довыренского и Мончегорского интрузивов впервые в России представлены данные по кинетической зональности оливина по фосфору в кумулатах и показан огромный потенциал ее изучения. В зональности описаны признаки компакции кумулулса путем растворения под давлением на контактах зерен (этот эффект, известный из экспериментальных работ, ранее не наблюдался на природном оливине), показано, что ранний этап кристаллизации большей части оливиновых кумулатов протекал при относительно высоких переохлаждениях 10–30°C и более, описаны реликты порового пространства кристаллического каркаса кумулулса, залеченные оливином, обогащенным фосфором (наблюдение является уникальным, пока неотмеченным в мировой литературе, и подчеркивает важность учета кинетических эффектов кристаллизации на всех этапах становления кумулатов в интрузивах).

- Показана возможная роль полибарической эволюции магмы при формировании нефелиновых кумулатов Ловозерского массива и оливиновых кумулатов Мончегорского массива.

- Для кинетической модели кристаллизации Спона (1988), учитывающей переохлаждение, предложена модификация, которая позволяет получить фундаментальное логлинейное CSD с использованием нормальных кинетических функций скорости нуклеации и роста и учетом зависимости скорости роста от размера зерна. Ранее модели, учитывающие переохлаждение, не позволяли получить логлинейное CSD, характерное для силикатных систем (магм) в природе.

Теоретическая значимость работы обоснована тем, что представлена новая методика изучения кумулатов, в которой комбинированы цифровые петрографические исследования, исследования кинетической зональности индивидуальных зерен, геохимии пород, кинетическое и термодинамическое моделирование процессов кристаллизации. В

своей комплексности работа взаимно обогащает теоретический ландшафт этих научных направлений.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что углубление моделей петрогенеза в магматических системах способствует улучшению понимания генезиса, а цифровая количественная петрография получению геологической информации, расширяющей наборы поисковых признаков, различных месторождений полезных ископаемых, содержащихся в расслоенных интрузивах. Размеченные изображения шлифов можно использовать для обучения моделей машинного зрения.

Оценка достоверности результатов исследования обеспечена публикацией 5 работ в рецензируемых научных журналах, значимым объемом природных образцов и полученных на них эмпирических данных, доказанной воспроизводимостью измерений на рассматриваемых породах, использованием отработанных методик (электронно-зондового микроанализа с высоким током, РФА и ИСП-МС), а также сходимостью результатов с работами других исследователей магматических пород, например, по дунитам Маунт Кит в Австралии и интрузивным фациям СОХ.

Личный вклад соискателя состоит в (1) подготовке электронной шлифотеки из более чем 6500 сканированных изображений шлифов интрузивных и эффузивных пород, (2) разработке и реализации нового комплекса методических подходов к изучению кумулатов, (3) ручной и полуручной разметке всех используемых в работе шлифов, занявшей более ста рабочих дней (количество размеченных зерен составило около 100000), (4) участии в двух полевых сезонах на Йоко-Довыренском массиве, трех на Мончегорском массиве и шести на Ловозерском массиве, (5) участии в отборе всех используемых в работе образцов (за исключением образцов с Йоко-Довыренского массива, отобранных до 2016 года, и группы образцов Ловозерского массива, предоставленных для анализа Михайловой Ю.А.), (6) участии в пробоподготовке нескольких сотен образцов для изготовления прозрачно-полированных шлифов, (7) пробоподготовке около сотни образцов для валовых химических анализов, (8) исследовании образцов на электронном микроскопе, (9) проведении расчетов в программах Комагмат и Melts, (10) разработке алгоритма и написании кода для модификации кинетической модели (Spohn et al., 1988), (11) выпиливании ориентированных и неориентированных пластин для шлифов, задействованных в работе, (12) подготовке статей и тезисов при консультативном участии научного руководителя и соавторов.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Вопросы в основном касались адкумулусных процессов миграции границ, деталей процесса вторичного растворения и выноса хромита и сульфидного расплава силикатным расплавом, причин отсутствия накопления сульфидного расплава в Ловозерском массиве, деталей образования двух генераций оливина и их зональности, причин образования осцилляторной зональности оливина, деталей внедрения гетерогенных по температуре магм в камеру Йоко-Довырена, ориентировки образцов, сопоставления с магнитной анизотропией образцов, общей динамической схемы для двух массивов, деталей зарастания интеркумулусного пространства, временных масштабов, рассматриваемых процессов, более широкой характеристики геологической обстановки.

Соискатель Соболев С.Н. ответил на все задаваемые в ходе заседания вопросы и высказанные замечания. Приведенная им аргументация была положительно оценена присутствующими на заседании оппонентами и членами диссертационного совета. Представленные замечания не снижают научной значимости работы и могут рассматриваться как рекомендации для дальнейшего развития исследований.

Диссертационная работа Соболева С.Н. «Структурно-геохимические свидетельства динамики образования кумулатов в расслоенных интрузивах» на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям п. 9-14 Постановления правительства РФ "О порядке присуждения учёных степеней" от 24.09.2013 №842 в ред. от 25.01.2024. Работа содержит научно-обоснованное решение научной задачи, междисциплинарной и важной для современной геохимии и петрологии – корреляции структурных и геохимических данных и расшифровки на этой основе истории кристаллизации кумулятивных пород с помощью термодинамического и кинетического моделирования с обоснованием явления компакции (уплотнение кумулуса, кристаллического осадка на дне магматической камеры) по механизму растворения-переотложения и инфильтрации расплава через кумулус с последующим выносом рудных компонентов, хромита и сульфидов, в вышележащие горизонты.

Содержание диссертационной работы соответствует специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

На заседании «21» мая 2025 года диссертационный совет принял решение: за разработку методики изучения кумулятивных магматических пород, сочетающую структурный, геохимический, онтогенетический и термодинамический подходы и аргументацию на ее базе таких особенностей кристаллизации кумулатов как высокое первичное переохлаждение, компакция путем растворения под давлением, формирование позднего неравновесного расплава и воздействие его на первичный кумулус, а также роли полибарической эволюции магм в формировании структуры кумулатов присудить Соболеву Сергею Николаевичу ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 19 докторов наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, в том числе 12 докторов наук, обеспечивающих отрасль науки – геолого-минералогические, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета проголосовали: за - 19, против - 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя
диссертационного совета,
профессор РАН, доктор геолого-
минералогических наук,

Шацкий Антон Фарисович

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук

Кронрод Екатерина Викторовна

21.05.2025



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)**

Протокол № 6

заседания диссертационного совета 24.1.195.02
от 21.05.2025

Состав диссертационного совета утвержден в количестве **27** человек.
Присутствовали на заседании **20** человек.

Председатель: *д. геол.-мин. наук, профессор РАН Шацкий Антон Фарисович*
(зам. председателя совета)

Присутствовали: д.г.-м.н., профессор РАН Шацкий А.Ф. (предс.), д.г.-м.н., академик РАН Когарко Л.Н., д.х.н. Акинфиев Н.Н., д.г.-м.н. Базилевский А.Т., д.г.-м.н. Бычков А.Ю., д.х.н. Дорофеева В.А., д.геогр.н. Гашкина Н.А., д.г.-м.н., член-корр. РАН Каминский Ф.В., д.г.-м.н., д.г.-м.н. Криволуцкая Н.А., д.х.н. Кронрод В.А., д.х.н., член-корр. РАН Кусков О.Л., д.г.-м.н. Левитан М.А., д.геогр.н. Линник В.Г., д.биол.н. член-корр. РАН Моисеенко Т.И., д.г.-м.н. Перчук А.Л., д.х.н. Поляков В.Б., д.т.н. Севастьянов В.С., д.г.-м.н. Силантьев С.А., д.х.н. Федотов П.С., к.х.н. Кронрод Е.В. (секретарь). (всего 20 человек)

В том числе по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых (отрасль науки – геолого-минералогические) – 12 человек: Шацкий Антон Фарисович, Когарко Лия Николаевна, Базилевский Александр Тихонович, Бычков Андрей Юрьевич, Гашкина Наталья Анатольевна, Каминский Феликс Витольдович, Криволуцкая Надежда Александровна, Левитан Михаил Аркадьевич, Линник Виталий Григорьевич, Моисеенко Татьяна Ивановна, Перчук Алексей Леонидович, Силантьев Сергей Александрович

Слушали:

Защиту диссертационной работы **Соболева Сергея Николаевича «СТРУКТУРНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ДИНАМИКИ ОБРАЗОВАНИЯ КУМУЛАТОВ В РАССЛОЕННЫХ ИНТРУЗИВАХ»** на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертационная работа выполнена в лаборатории термодинамики и математического моделирования природных процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ордена Ленина и Ордена

Октябрьской революции Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН).

Научный руководитель – Арискин Алексей Алексеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры петрологии и вулканологии геологического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва

Официальные оппоненты по диссертации:

Симакин Александр Геннадьевич, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией физико-химических проблем магматизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского Российской академии наук (ИЭМ РАН), г. Черноголовка;

Изох Андрей Эмильевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры петрографии и геологии рудных месторождений геолого-геофизического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ), главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской Академии Наук (ИГМ СО РАН), г. Новосибирск.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), г. Москва

По теме диссертации соискателем опубликована 21 печатная работа, включая 5 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ (К1-2). Требования к публикациям основных научных результатов, предусмотренные п.11 – 13 Положения, а также требования п. 10 и 14 выполнены полностью.

Отзывы оппонентов и ведущей организации – положительные. На диссертацию поступило 9 отзывов – все отзывы положительные.

Впервые для кумулатов из Йоко-Довыренского, Мончегорского и Ловозерского интрузивов приводятся надежные данные по распределениям кумулюсных кристаллов по размеру - CSD (всего 120 распределений). На основании анализа полученной гранулометрии показано, что распределения представляют три главных типа: логлинейное, бимодальное и логнормальное, но также имеют более тонкие черты, индикаторные для расшифровки магматического процесса. Впервые для Йоко-Довыренского и Мончегорского интрузивов установлена корреляция CSD оливина в дунитах и валового содержания в них рудных компонентов (Cu, Ni, ЭПГ, Cr). Обоеднение рудными компонентами наблюдается в кумулатах с логнормальным CSD оливина, образованном при частичном растворении кристаллической популяции, и интерпретировано как результат воздействия на первичный кумулулс более позднего неравновесного расплава. На примере Йоко-Довыренского и

Мончегорского интрузивов впервые в России представлены данные по кинетической зональности оливина по фосфору в кумулатах и показан огромный потенциал ее изучения. В зональности описаны признаки компакции кумулуса путем растворения под давлением на контактах зерен (этот эффект, известный из экспериментальных работ, ранее не наблюдался на природном оливине), показано, что ранний этап кристаллизации большей части оливиновых кумулатов протекал при относительно высоких переохлаждениях 10–30°C и более, описаны реликты порового пространства кристаллического каркаса кумулуса, залеченные оливином, обогащенным фосфором (наблюдение является уникальным, пока неотмеченным в мировой литературе, и подчеркивает важность учета кинетических эффектов кристаллизации на всех этапах становления кумулатов в интрузивах). Показана возможная роль полибарической эволюции магмы при формировании нефелиновых кумулатов Ловозерского массива и оливиновых кумулатов Мончегорского массива. Для кинетической модели кристаллизации Спона (1988), учитывающей переохлаждение, предложена модификация, которая позволяет получить фундаментальное логлинейное CSD с использованием нормальных кинетических функций скорости нуклеации и роста и учетом зависимости скорости роста от размера зерна. Ранее модели, учитывающие переохлаждение, не позволяли получить логлинейное CSD, характерное для силикатных систем (магм) в природе.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Вопросы в основном касались адкумулятивных процессов миграции границ, деталей процесса вторичного растворения и выноса хромита и сульфидного расплава силикатным расплавом, причин отсутствия накопления сульфидного расплава в Ловозерском массиве, деталей образования двух генераций оливина и их зональности, причин образования осцилляционной зональности оливина, деталей внедрения гетерогенных по температуре магм в камеру Йоко-Довырена, ориентировки образцов, сопоставления с магнитной анизотропией образцов, общей динамической схемы для двух массивов, деталей зарастания интеркумулятивного пространства, временных масштабов, рассматриваемых процессов, более широкой характеристики геологической обстановки.

Соискатель Соболев С.Н. ответил на все задаваемые в ходе заседания вопросы и высказанные замечания. Приведенная им аргументация была положительно оценена присутствующими на заседании оппонентами и членами диссертационного совета. Представленные замечания не снижают научной значимости работы и могут рассматриваться как рекомендации для дальнейшего развития исследований.

Постановили:

Диссертационная работа **Соболева Сергея Николаевича «Структурно-геохимические свидетельства динамики образования кумулатов в расслоенных интрузивах»** на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям п. 9 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 18.03.2023) «О порядке присуждения ученых степеней». Работа содержит научно-обоснованное решение научной задачи, междисциплинарной и важной для современной геохимии и петрологии, – корреляции структурных и геохимических данных и расшифровки на этой основе истории кристаллизации кумулятивных пород с помощью термодинамического и кинетического моделирования с обоснованием явления компакции (уплотнение кумулуса, кристаллического осадка на дне

магматической камеры) по механизму растворения-переотложения и инфильтрации расплава через кумулус с последующим выносом рудных компонентов, хромита и сульфидов, в вышележащие горизонты.

Содержание работы соответствует специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

На заседании «21» мая 2025 года диссертационный совет принял решение: за разработку методики изучения кумулятивных магматических пород, сочетающую структурный, геохимический, онтогенетический и термодинамический подходы и аргументацию на ее базе таких особенностей кристаллизации кумулатов как высокое первичное переохлаждение, компакция путем растворения под давлением, формирование позднего неравновесного расплава и воздействие его на первичный кумулус, а также роли полибарической эволюции магм в формировании структуры кумулатов, присудить Соболеву Сергею Николаевичу ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 19 докторов наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, в том числе 12 докторов наук, обеспечивающих отрасль науки – геолого-минералогические, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета проголосовали: за - 19, против - 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель председателя
диссертационного совета,
профессор РАН, доктор геолого-
минералогических наук

Шацкий Антон Фарисович

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук

Кронрод Екатерина Викторовна

