

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

экспертной комиссии, созданной на базе диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 24.1.195.02 на базе ФБГУН Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) по диссертационной работе Соболева Сергея Николаевича «СТРУКТУРНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ДИНАМИКИ ОБРАЗОВАНИЯ КУМУЛАТОВ В РАССЛОЕННЫХ ИНТРУЗИВАХ», представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 – Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Экспертная комиссия в составе:

1. Доктора геол.-мин. наук, Силантьева Сергея Александровича (ГЕОХИ РАН, председатель комиссии);
2. Доктора геол.-мин. наук, академика, Когарко Лии Николаевны (ГЕОХИ РАН, член комиссии);
3. Доктора геол.-мин. наук, Криволицкой Надежды Александровны (ГЕОХИ РАН, член комиссии)

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

**Объект исследования** – определение в кумулятивных породах трех расслоенных интрузивов (Йоко-Довыренского, Мончегорского и Ловозерского) распределений кумулятивных кристаллов по размеру (гранулометрия), изучение их зональности, валового химического состава пород, поиск корреляции между гранулометрией, зональностью и геохимией, термодинамическое и кинетическое моделирование кристаллизации.

**Результаты исследований** – по методике описанной в (Соболев и др., 2023) измерены размеры около 100 тыс. кристаллов оливина, хромшпинелида, нефелина, лопарита и апатита в образцах перидотитов, троктолитов и феоидолитов из базит-гипербазитовых (Йоко-Довыренский массив и Мончеплутон) и щелочного Ловозерского интрузива и получены 120 распределений кристаллов по размеру (CSD). Установлены три главных типа CSD – экспоненциальное (линейное в логарифмических координатах), бимодальное (состоящее из двух линейных участков) и логнормальное.

Методами элементного картирования с высоким током (Batanova et al., 2015) для пород Йоко-Довыренского массива и Мончегорского комплекса получены картины зональности кристаллов оливина по содержанию фосфора. При этом выявлены признаки начального скелетного роста, осцилляций скорости роста, посткумуляусной резорбции зерен и заключительного зарастания межзерновых пор оливином. Впервые установлено, что различные картины зональности кристаллов оливина по фосфору соответствуют специфическим формам CSD в кумулатах. Съемкой на СЭМ охарактеризована зональность нефелина, лопарита и апатита в уртитях и других существенно нефелиновых породах дифференцированного комплекса Ловозерского массива.

В изученных дунитах базит-гипербазитовых массивов установлена корреляция типа CSD оливина с содержаниями меди, серы и хрома в породах. Максимальные содержания

рудных компонентов демонстрируют кумулаты с логлинейным распределением кристаллов оливина по размеру, тогда как обедненными Cu, S и Cr оказались породы с логнормальными CSD. Логнормальная форма распределения по размеру, наряду с признаками преимущественного растворения мелких зерен (записанными в зональности), согласуется с воздействием на первичный кумулус инфильтрующегося расплава, который в режиме компактии (Mckenzie, 1984) обеспечивал вынос рудных компонентов.

Совокупное рассмотрение формы CSD, особенностей зональности кумулусных зерен и химического состава пород, подкрепленное результатами термодинамического моделирования их кристаллизации, позволили составить для рассматриваемых пород динамические сценарии формирования и эволюции протокумулясных систем, начиная с докамерной истории исходной магмы до полного затвердевания кумулатов в камере.

**Работа имеет научную новизну и практическую значимость.** Впервые для Йоко-Довыренского, Мончегорского и Ловозерского интрузивов для разных типов кумулатов приводятся количественные данные CSD. Для Йоко-Довыренского и Мончегорского интрузивов установлена корреляция CSD оливина в дунитах и валового содержания в них Cu, Ni, ЭПГ, Cr. Для кумулатов из этих массивов впервые представлены данные по зональности оливина по фосфору и некоторым другим примесным элементам. Обнаружено, ранее не отмечавшееся в литературе, но, тем не менее, широко распространённое, согласно данными, полученным диссертантом, явление обогащения фосфором оливина, заместившего поровое пространство при окончательном затвердевании кумулуса. Показано противоречие между представлением о медленной кристаллизации на последних стадиях затвердевания кумулатов и обнаруженным эффектом обогащения фосфором оливина при быстрой кристаллизации в порах. В дунитах и троктолитах Йоко-Довыренского массива описаны признаки компактии кумулатов путем растворения под давлением на контактах зерен оливина, обнаруженные при изучении зональности по содержанию фосфора. Этот процесс, известный из экспериментальных (Schmidt et al., 2012) и теоретических (Mckenzie, 1984; Tharp et al., 1998) работ, обсуждался в литературе на природном материале из расслоенных интрузивов (Holness et al., 2017), но его признаков ранее обнаружено не было. Показано, что начальный этап кристаллизации большей части оливиновых кумулатов протекал при относительно высоком переохлаждении 10-30°C и более, когда включатся режимы скелетного роста и формируется осцилляторная зональность оливина, что ставит под сомнение распространенное мнение, что кристаллизация в интрузивах протекает при незначительных переохлаждениях (Marsh., 1998).

Для нефелиновых пород Ловозерского массива методом геохимической термометрии (Арискин, Бармина, 2000) в программе Melts (Ghiorso, Sack, 1995) даны оценки состава вероятного исходного расплава и продемонстрировано, что бимодальная зональность нефелина уртитов и бимодальное CSD могут быть результатом вторичной нуклеации в условиях адиабатического подъема щелочной магмы, содержащей разное количество интрателлурического нефелина. Предложена модификация кинетической модели (Spohn et al., 1988), на основе изменённого уравнения (Mydlarz, Jones, 1993), которая позволяет получить логлинейное CSD с использованием нормальных кинетических функций скорости нуклеации и роста, а также переменной зависимости скорости роста от размера зерна.

Работа вносит практический вклад в развитие методологии петролого-геохимических и количественных петрографических исследований процессов внутрикамерной дифференциации магм.

Размеченные изображения шлифов можно использовать для обучения моделей машинного зрения. Их развитие в последние годы имеет лавинообразный характер (Bukharev et al., 2018; Jiang et al., 2018; Murtazin et al., 2023; Han, Liu, 2024; Hassan et al., 2024; Zhang et al., 2024; Liu et al., 2024) и в скором времени может эффективно

способствовать росту доступной количественной петрографической информации.

**Комиссия считает, что по содержанию и направленности исследований диссертация «СТРУКТУРНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ДИНАМИКИ ОБРАЗОВАНИЯ КУМУЛАТОВ В РАССЛОЕННЫХ ИНТРУЗИВАХ», представленная Соболевым Сергеем Николаевичем на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых», соответствует профилю диссертационного совета 24.1.195.02 при ФБГУН Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН) и паспорту специальности 1.6.4. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, отвечает требованиям ВАК и может быть принята в Совет для защиты на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».**

**Комиссия рекомендует Совету:**

принять к защите диссертацию Соболева Сергея Николаевича «СТРУКТУРНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА ДИНАМИКИ ОБРАЗОВАНИЯ КУМУЛАТОВ В РАССЛОЕННЫХ ИНТРУЗИВАХ», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4 - Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых;

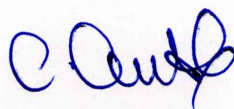
1) назначить в качестве официальных оппонентов следующих специалистов:

**Изоха Андрея Эмильевича**, д.г.-м.н., профессора НГУ, главного научного сотрудника Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН);

**Симакина Александра Геннадьевича**, д.ф.-м.н., главного научного сотрудника Института экспериментальной минералогии им. Д.С. Коржинского Российской академии наук (ИЭМ РАН);

2) назначить в качестве ведущей организации Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН).

Председатель комиссии:



Силантьев С.А.

Члены комиссии:



Когарко Л.Н.



Криволицкая Н.А.

« 13 » марта 2025 г.

Силантьев С.А.  
Когарко Л.Н.  
Криволицкая Н.А.

Подпись \_\_\_\_\_  
Удостоверен \_\_\_\_\_  
Секретарь диссертационного совета \_\_\_\_\_  
ГЕОХИ РАН

