



УТВЕРЖДАЮ
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук (ИГЕМ РАН)
д.т.н. А.В.Жариков.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу 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»

Диссертационная работа Сергея Николаевича Соболева является выдающимся петроструктурным исследованием, построенном на синтезе и актуализации критически рассмотренных существующих моделей формирования магматических камер. На пример разрезом трех крупных расслоенных интрузивов (Довырен, Мончегорск и Ловозеро) в работе рассмотрены процессы зарождения, роста, растворения и дорастания кумулусных минералов в их соотношениях с окружающим расплавом. Работа стоит на трех китах. (1) В ней использованы имеющиеся базы геохимических данных по составам пород и минералов для этих массивов с дальнейшим моделированием эволюции составов расплавов реализуя подходы, разработанные в трудах М.Френкеля, А.Арискина, Г.Николаева и Г.Барминой, а также алгоритм MELTS. (2) Собственный выдающийся вклад автора состоит в получении представительных статистических данных по оценкам распределений кристаллов по размеру – crystal size distribution (CSD) по тем же разрезам и интерпретации полученных распределений, учитывая весь тот богатый опыт, накопленный по этому направлению в основном зарубежными школами, и наиболее полно синтезированный, наверное, в книге М.Д. Хиггинса (Higgins, 2006). (3) Интерпретация данных по гранулометрическому распределению зерен оливина подкрепляется картинками зональности распределения низкозарядных и высокозарядных катионов в оливине, полученных в режимах, позволяющих выявить гетерогенность примесных элементов, присутствующих в концентрациях менее 0,1 %. Наиболее впечатляющие результаты получены по распределению фосфора, на основании которых сделан вывод о первичном характере его

распределения, сохранившемся благодаря низкой скорости диффузии. Проведенное сопоставление характера зональности роста и гетерогенного распределения фосфора при растворении, зарастании и дорастании с характером кривых CSD и петрологическими реконструкциями позволило автору предложить модели формирования камер для трех изученных интрузивов, согласующиеся с природными наблюдениями. Выводы автора во многом подтверждают имеющиеся в литературе предположения о механизмах кристаллизации этих крупных интрузивов, однако, эти модели обоснованы количественно и статистически впервые. Автор показывает, что бимодальность распределения и зональность зерен во всех трех интрузивах говорят о высокой пропорции интрателлурических зерен, привнесенных в виде суспензии. Эти же данные свидетельствуют о смешении расплавов, либо при внедрении новых порций, либо при фильтрации расплава, так что кумулаты неравновесны с окружающим их расплавом.

В работе защищается три положения:

1. Первое предлагает интерпретацию трех основных типов распределений размеров кристаллов (логлинейное, бимодальное и логнормальное) в трех изученных интрузивах как отражение первичного роста, повторной нуклеации и частичного растворения, соответственно. Полученный материал подтверждает этот вывод.

2. Второе положение постулирует, что зональность кумулусного оливина по фосфору образована в стадию его скелетного роста при высоком переохлаждении (10-30 °C) при последующем частичном растворении мелких зерен, периферийном растворении под давлением и зарастании пор кумулуса. Все эти явления убедительно продемонстрированы в работе.

3. Корреляция эволюции магмы по петрологическим реконструкциям, распределению CSD и зональности оливина свидетельствует о неравновесности кумулатов и окружающего расплава, что приводит в том числе и к выносу рудных фаз (сульфидов и хромита). Это положение также доказано.

Научная новизна достижений диссертанта не вызывает сомнений. В целом, надо отметить, что, помимо трех основных защищаемых положений, диссертационная работа содержит множество значительных выводов разного плана. Среди них хотелось бы отметить наиболее важные и новые:

1. Критическое рассмотрение существующих моделей, основных допущений и методологических подходов к восстановлению условий кристаллизации представлены в главе 1. Надо сказать, что глава начинается с общего обзора на пару страниц, в котором в начале чтения бросается в глаза редкость ссылок на литературные источники. Однако, по

мере более детального рассмотрения к концу главы делается очевидным, что все основные работы по направлению прокомментированы и ничей вклад не пропущен.

2. В той же главе представлены краткие резюме по основным работам, использовавшим метод CSD для расшифровки истории кристаллизации известных модельных расслоенных интрузивов, в том числе минерализованных (включая Рам, Бушвельд, Джиньчуань и Илмаусак), Автор выявляет спорные проблемы интерпретации и показывает, что во многих случаях предполагается более сложная история кристаллизации.

3. Модификация модели Спона с соавторами (Spohn et al., 1988) с учетом зависимости скорости роста от размера зерна, по-видимому, позволяет добиться наибольшего соответствия между расчетами и эмпирическими данными по CSD. Эта часть работы заслуживает отдельной публикации, если это еще не сделано, поскольку найдет широкое применение в подобных исследованиях.

Диссертация объемом 234 стр. состоит из Введения, пяти глав, Заключения, списка литературы из 251 наименования, и двух приложений.

Первая глава, как уже говорилось, дает обширный, но компактно и рационально построенный литературный обзор работ по закономерностям образования магматических камер. Вторая, третья и четвертая главы последовательно рассматривают строение и приводят фактический материал по трем основным интрузивам с последующей интерпретацией и обоснованием защищаемых положений. В пятой главе предложена новая модель для объяснения типичных паттернов логлинейных распределений и причин несоответствия их кинетической модели (Spohn et al., 1988). Также в этой главе сделана попытка количественно обосновать повышенные коэффициенты распределения фосфора в оливин в условиях быстрого роста, что также представляет собой результат, заслуживающий отдельной детальной публикации. Здесь же рассматривается процесс восходящей фильтрации расплава при компакции кумулатов, в терминах так называемого магматического метасоматоза, который вернее было бы называть инфильтрационным метасоматозом. В Заключении сформулированы основные выводы работы.

Диссертация написана ясным геологическим языком с минимальным количеством технических недочетов, иллюстрирована в соответствии с нормами научной литературы. Принципиальных замечаний нет.

В качестве обсуждения можно отметить, что и в исходных, и в конечных моделях не рассматривается проблема пространства при образовании расслоенных интрузивов. Модели (например, на стр. 15) предусматривают заполнение камеры, как будто эта камера была заранее подготовлена для заполнения. Может быть, следовало использовать скорее термин «разработка» камеры? Предполагает ли автор эрозию вмещающих пород или их

раздвигание со смятием и сжатием? Как в моделях учитываются горизонты с ксенолитами вмещающих пород?

Второе допущение, которое не совсем соответствует представленному материалу, касается представления об интенсивной кристаллизации в верхнем пограничном слое (стр. 179 и рис. 66). Известно, что для большинства крупных расслоенных интрузивов, в отличие от Скаергаарда, кристаллизация в верхнем эндоконтакте с продвижением фронта кристаллизации вглубь не просматривается. Так, верхний фронт кристаллизации отсутствует в расслоенной серии Растенбург комплекса Бушвельд, кажется не очевидным и влияние кристаллизации в верхнем пограничном слое на процессы в основном объеме камеры Довырена, ведь дорастание и перемешивание могут быть связаны с дополнительными внедрениями. Эти замечания скорее предлагают почву для будущих работ и не влияют на общую высочайшую оценку достижений диссертанта как яркого представителя петрологической школы ГЕОХИ.

Личный вклад автора диссертации подтверждается списком публикаций. По теме диссертации опубликовано 5 статей в журналах списка ВАК, автор диссертации является первым автором в двух из них, напечатанных в журнале Петрология. Защищаемые положения 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.

Отзыв подготовлен, 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.

Отзыв организации на диссертационную работу Соболева Сергея Николаевича рассмотрен 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 г.

Зав. лабораторией геохимии ИГЕМ РАН,
кандидат геолого-минералогических наук,



Юдовская Марина Александровна

Зав. лабораторией петрографии ИГЕМ РАН,
доктор геолого-минералогических наук



Носова Анна Андреевна

Ученый секретарь расширенного заседания
лаборатории петрографии
кандидат геолого-минералогических наук



Лебедева Наталия Михайловна

17 апреля 2025 г.





МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИГЕМ РАН)**

119017 Москва, Старомонетный пер., 35, тел. (495) 951-45-79 (канц.), факс (495) 951-15-87, E-mail: director@igem.ru,
ИНН 7706042076, КПП 770601001, БИК ТОФК 004525988, Банк ГУ БАНКА РОССИИ ПО ЦФО/УФК ПО Г. МОСКВЕ,
ЕКС: 40102810545370000003, Казначейский счет: 03214643000000017300, Лицевой счёт № 20736Ц85500, ОГРН 1027739282812,
ОКТМО 45384000, ОКВЭД 72.19, ОКПО 02699576

СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе **Соболева Сергея Николаевича**, выполненной на тему
«Структурно-геохимические свидетельства динамики образования кумулатов в
расслоенных интрузивах», по специальности 1.6.4 Минералогия, кристаллография. Геохимия,
геохимические методы поисков полезных ископаемых

1.	Полное наименование организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
2.	Сокращенное наименование организации	ИГЕМ РАН
3.	Организационно-правовая форма организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
4.	Ведомственная принадлежность организации	Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
5.	Место нахождения	г. Москва, Российская Федерация
6.	Почтовый адрес организации	119017, Старомонетный пер., д.35
7.	Телефон организации	Тел.: +7 (495) 951-45-79 Факс: +7(495) 951-15-87
8.	Адрес электронной почты организации	director@igem.ru
9.	Адрес официального сайта организации в сети Интернет	http://www.igem.ru/
10.	Руководитель организации	Директор ИГЕМ РАН чл.-корр. РАН Владислав Александрович Петров
11.	Наименование профильного структурного подразделения, занимающегося проблематикой диссертации	Лаборатория Петрографии
12.	Сведения о лице, утверждающем отзыв ведущей организации	Врио Директора ИГЕМ РАН д.т.н. Андрей Виленович Жариков
13.	Сведения о составителях отзыва из ведущей организации	М.А.Юдовская –известный исследователь расслоенных интрузивов России и Мира, А.А.Носова – известный исследователь внутриплитного магматизма, в том числе Кольской провинции. Оба составителя отзыва имеют многочисленные публикации по петрологии, геохимии, минералогии в ведущих международных журналах.
14.	Список основных публикаций работников ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15 публикаций)	1. Barnes S.J., Yudovskaya M.A., Iacono-Marziano G., Le Vaillant M., Schoneveld L.E., Cruden A.R. 2023. Role of volatiles in intrusion emplacement and sulfide deposition in the supergiant Norilsk-Talnakh Ni-Cu-PGE ore deposits. <i>Geology</i> , 51 (11), 1027–1032 https://doi.org/10.1130/G51359.1

2. Yudovskaya M., Masunte T., Kinnaird J.A., Mwenze T., Ueckermann H., Iaccheria L., Borisovsky S., Bolhar R. 2023. An extension of the Rooiberg Group and Upper Zone 1 of the Bushveld Complex in 2 the northernmost Waterberg segment. *Precambrian Research*, 399, 107228 <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2023.107228>
3. Brovchenko V. D., Kirillina I. A., Yudovskaya M. A., Costin G., Pshenitsyn I. V., Kovalchuk E. V., Larionova Yu. O., Gritsenko Yu. D., Ketrov A. A., Sluzhenikin S. F. 2023. Sources of Cuprous Sulfide Mineralization and High-Ni Olivine of the Rudnaya Dyke (Imangda Cluster, Norilsk region) Based on Compositional, Isotope and Model Data. *Petrology* 31 (6), 624-647 DOI: 10.1134/S086959112306005X
4. Sluzhenikin S. F., Malitch K. N., Yudovskaya M. A., Turovtsev D. M., Antsiferova T. N., Mikhalev S. K., Badanina I. Yu., N. G. Soloshenko. 2023. Lower Talnakh Type Intrusions of the Norilsk Ore Region. *Petrology* 31 (5), 492-518 DOI: 10.1134/S0869591123050065
5. Yudovskaya M.A., Kinnaird J.A., Costin G., McCreesh M., Shilovskikh V., Kovalchuk E., Kuzmin D. 2022. Formation of Spinel-Orthopyroxene Symplectites by Reactive Melt Flow: Examples from the Northern Bushveld Complex and Implications for Mineralization in Layered Intrusions. *Economic Geology*. 117 (8), 1935–1960. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4938>
6. Maier W.D., Yudovskaya M., Jugó P. 2021. Introduction to the special issue on the Flatreef PGE-Ni-Cu deposit, northern limb of the Bushveld Igneous Complex // *Mineralium Deposita*, 56, 1-10.
7. Solovova I.P., Yudovskaya M.A., Kinnaird J.A., Wilson A.H., Zinovieva N.G. 2021. A Siliceous Komatiitic Source of Bushveld Magmas Revealed by Primary Melt Inclusions in Olivine. *Lithos*, 388-389, 106094. doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106094
8. Sluzhenikin S.F., Yudovskaya M.A., Barnes S.J., Abramova V.D., Le Vaillant M., Petrenko D.B., Grigor'eva A.V., Brovchenko V.D. 2020. Low-Sulfide Platinum Group Element Ores of the Norilsk-Talnakh Camp. *Economic Geology*, 115, 1267-1303. DOI:10.5382/ECONGEO.4749
9. Nosova, A. A. Kopylova, M. G. Sazonova, L. V. Vozniak, A. A. Kargin, A. V. Lebedeva, N. M. Volkova, G. D. Peresetskaya, E. V. Petrology of lamprophyre dykes in the Kola Alkaline Carbonatite Province (N Europe) *LITHOS* 2021 VL 398 AR 106277 DOI 10.1016/j.lithos.2021.106277
10. Nosova A.A., Kopylova M.G., Lebedeva N.M., Larionova Y.O., Kargin A.V., Sazonova L.V., Vozniak A.A., Kovach V.P. Melt sources for alkaline carbonate-bearing rocks of the Terskiy Coast (Kola Alkaline Carbonatitic Province) // *Chemical Geology*. 2023. – V.- 617. 121267 <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2022.121267>



Врио Директора ИГЕМ РАН

д.т.н.

МП

подпись

ФИО

А.В.Жариков



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ,
ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИГЕМ РАН)**

119017 Москва, Старомонетный пер., 35, тел. (495) 951-45-79 (канц.), факс (495) 951-15-87, E-mail: director@igem.ru,
ИНН 7706042076, КПП 770601001, БИК ТОФК 004525988, Банк ГУ БАНКА РОССИИ ПО ЦФО/УФК ПО Г. МОСКВЕ,
ЕКС: 40102810545370000003, Казначейский счет: 03214643000000017300, Лицевой счёт № 207361185500, ОГРН 1027739282812,
ОКТМО 45384000, ОКВЭД 72.19, ОКПО 02699576

13.03.2025 № 13104 - 01-02/20

На № _____

Председателю диссертационного совета
№ 24.1.195.02
академику РАН, д.г.-м.н.
Л.Н. Когарко

СОГЛАСИЕ
ведущей организации

В ответ на Вашу просьбу Иск.№ 13110-01-22-258/252 от 12.03.2025 г., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН) дает согласие выступить в качестве ведущей организации и предоставить отзыв на 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

Директор ИГЕМ РАН
чл.-корр. РАН



В.А.Петров