

С. А. Бабушкина

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия

e-mail: ssta@list.ru

ФЕНОКРИСТАЛЛЫ ФЛОГОПИТА С ВКЛЮЧЕНИЯМИ ХРОМШПИНЕЛИДОВ ИЗ НЕАЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВ (НА ПРИМЕРЕ АН-195 ЗАПАДНО-УКУКИТСКОГО ПОЛЯ)

Аннотация. Представлены результаты микрозондового исследования состава макрокристаллов флогопита с включениями хромшпинелидов из кимберлитового тела Ан-195 Западно-Укукитского поля Якутской кимберлитовой провинции. Целью настоящего исследования являлось установление генезиса подобных флогопитов, являются ли они представителями глубинного мантийного вещества или их образование непосредственно связано со становлением кимберлитов, слагающих Ан-195. Установлено, что включения хромшпинелидов приурочены только к хромистым незональным флогопитам или к хромистым участкам зональных макрокристаллов (Cr_2O_3 0,75–1,55 мас. %, TiO_2 2,67–3,84 мас. %, Mg\# 83–88). На основании сравнительного анализа изученных флогопитов с составом аналогов из парагенезисов этих минералов в различных мантийных ксенолитах ультраосновных пород, эклогитов и пород MARID-серии сделан вывод о том, что данные флогопиты скорее всего представляют собой фенокристную ассоциацию минералов кимберлитов. От флогопитов из пород MARID-серии при равных Mg\# и TiO_2 они чётко отличаются более высокими содержаниями Al_2O_3 . От флогопитов из ксенолитов ультраосновных мантийных пород – в целом меньшей магнезиальностью. От флогопитов из эклогитов – в целом более высоким содержанием Cr_2O_3 . Включения высокохромистых шпинелидов во флогопите (Cr_2O_3 44–50 мас. %, TiO_2 3–5,5 мас. %, Fe^{3+} <0,35 ф.е), отвечают по составу шпинелидам из катаклазированных дунитов и являются продуктами их перекристаллизации под воздействием высокотемпературного мантийного флюида. Включения менее хромистых шпинелидов (Cr_2O_3 30–44 мас. %, TiO_2 4–7,5 мас. %, Fe^{3+} > 0,35 ф.е.), вероятно, кристаллизовались одновременно с макрокристаллами флогопита и захватывались ими в процессе длительного совместного роста.

Ключевые слова: флогопит, шпинелид, мантийные ксенолиты, эклогиты, MARID-серия, мантийный метасоматоз, кимберлит, фенокрист, ксенокрист.

S. A. Babushkina

Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB, RAS, Yakutsk, Russia

e-mail: ssta@list.ru

PHLOGOPITE PHENOCRYSTALS WITH INCLUSIONS OF CHROME SPINELIDES FROM NON-DIAMOND-BEARING KIMBERLITES: THE CASE OF AN-195 BODY OF THE WEST UKUKIT FIELD

Abstract. The article presents the results of a microprobe study of the composition of phlogopite macrocrystals with inclusions of chrome spinelides from An-195 kimberlite body of the West Ukukit field, Yakut kimberlite province. The purpose of this study was to establish the genesis of such phlogopites: whether they are representatives of deep mantle matter or their formation is directly related to the formation of kimberlites composing An-195. It was found that the inclusions of chrome spinelides are confined only to chromic non-zonal phlogopites or to chromic sites of zonal macrocrystals (Cr_2O_3 0.75–1.55 wt. %, TiO_2 2.67–3.84 wt. %, Mg\# 83–88). Based on a comparative analysis of the studied phlogopites and chromespinelides with the composition of analogues from the parageneses of these minerals in various mantle xenoliths of ultrabasic rocks, eclogites and rocks of the MARID series, it was concluded that these phlogopites most likely represent a phenocrystal association of kimberlite minerals. They clearly differ from phlogopites of the MARID series rocks with equal Mg\# and TiO_2 in higher Al_2O_3 contents; from phlogopites of ultrabasic mantle rocks xenoliths – generally with lower magnesia content.

Phlogopites from eclogites have a generally higher Cr_2O_3 content. Inclusions of high-chromium spinelides in phlogopite (Cr_2O_3 44-50 wt. %, TiO_2 3-5.5 wt. %, $\text{Fe}^{3+} < 0.35$ f.e.) correspond in composition to spinelides from cataclysmic dunites and are products of their recrystallization under the influence of high-temperature mantle fluid. Inclusions of less chromic spinelides (Cr_2O_3 30-44 wt. %, TiO_2 4-7.5 wt. %, $\text{Fe}^{3+} > 0.35$ fe) probably crystallized simultaneously with phlogopite macrocrystals and were captured by them during long-term co-growth.

Keywords: phlogopite, spinelide, mantle xenoliths, eclogites, MARID series, mantle metasomatism, kimberlite, phenocryst, xenocryst.

Введение

Известно, что флогопит, являющийся одним из ведущих минералов в кимберлитах, имеет как ксеногенную, так и фенокристную природу. Ксеногенный флогопит попадает в кимберлиты при дезинтеграции различных мантийных ксенолитов. Природа его чаще всего метасоматическая. Фенокристная ассоциация отражает этапы становления самих кимберлитов. Ксеногенный флогопит некоторых алмазоносных трубок Якутской кимберлитовой провинции (Мир, Юбилейная, Удачная) содержат включения шпинелидов, ильменитов, гранатов и пироксенов, являющихся ксеногенными или сингенетичными по отношению к минералу-хозяину. По данным наших предыдущих исследований наибольшим распространением в качестве кристаллических включений во флогопите пользуются шпинелиды различного генезиса [1–3].

В данной статье мы приводим результаты изучения состава макрокристаллов флогопита из Ан-195, как представителя. Аномалия находится в южной части Западно-Укукитского поля Якутской кимберлитовой провинции в составе Среднеоленьского алмазоносного района. В этом же поле на расстоянии 40 км от исследуемого объекта расположены две убогоалмазоносные трубки Светлана и Лорик (рис. 1). Последнее изучение вещественного состава кимберлитов этих трубок дает основание полагать, что требуется переопробование данных кимберлитов для переоценки их алмазоносности [4]. Данных по вещественному составу кимберлитовых пород, выполняющих Ан-195, как и почти всех неалмазоносных тел Западно-Укукитского поля Якутской кимберлитовой провинции, нигде не опубликовано. Нам представляется, что восполнение этого пробела представляет большой научный интерес. В данной статье будут представлены материалы по изучению одного из ведущих минералов кимберлитов – флогопита, как носителя важной генетической информации.

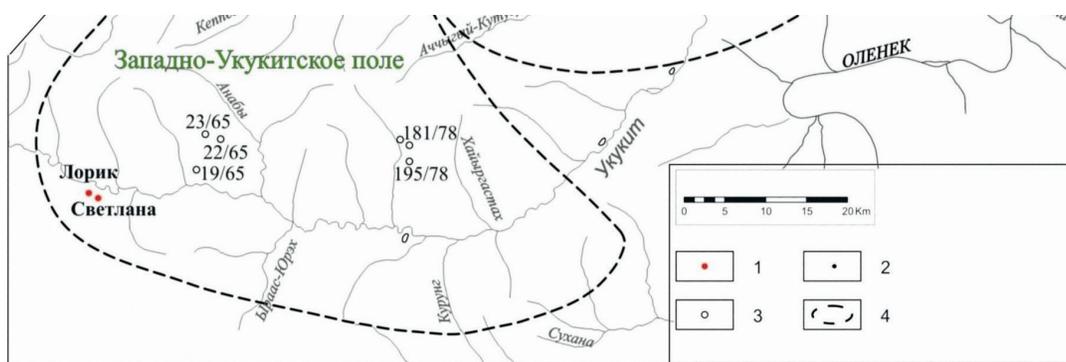


Рис. 1. Схема южной части Западно-Укукитского поля

1 – убогоалмазоносные трубки, 2 – геофизические аномалии трубчатого типа, 3 – кимберлитовые трубки и дайки, 4 – предполагаемые границы кимберлитовых полей

Fig. 1. Schematic map of the southern part of the West Ukukit field

1 – very low diamond content pipes, 2 – geophysical anomalies of the pipe type, 3 – kimberlite pipes and dikes, 4 – assumed boundaries of kimberlite fields

Материалы и методы исследования

Кристаллы флогопита (класс -1+0,5) были отобраны из протолочной пробы кимберлитов, затем заложена в эпоксидную шашку, отполирована и напылена. Исследование состава минералов проводилось в ИГАБМ СО РАН по стандартной методике на микрозонде Camebax-micro и сканирующем электронном микроскопе JSM6480LV с энергетическим спектрометром INCA-Energy 350 при напряжении на катоде 20 кВ и токе электронов 1 нА.

Исследовано 53 зерна флогопита, из которых в 13-ти обнаружены и проанализированы включения хромшпинелидов. Флогопиты имеют реликтово-таблитчатую или таблитчатую форму (рис. 2). Некоторые зерна проявляют зональность: незначительную и контрастную. Под незначительной мы понимаем такую зональность, когда разница в составе ядра и оболочки минимальна и не визуализируются при микрозондовом исследовании в обратно-рассеянных электронах (рис. 2 В). Контрастно-зональные зерна отличаются значительной разницей в составе ядра и оболочки и чётко визуализируются при микрозондовом изучении (рис. 2 Г).

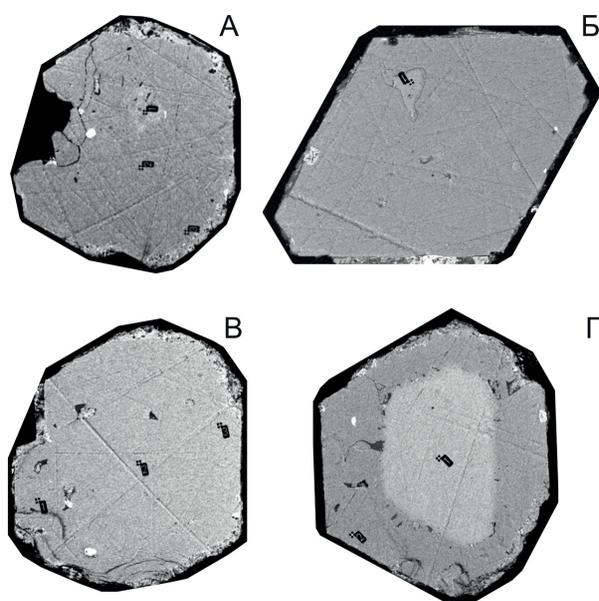


Рис. 2. Микрофотографии макрокристаллов флогопита с включениями хромшпинелидов в обратно рассеянных электронах

А – низкохромистый незональный (Cr_2O_3 в шпинели 46,66 мас. %), Б – высокохромистый незональный (Cr_2O_3 в шпинели 29,09 мас. %), В – незначительно зональный (Cr_2O_3 в шпинели 45,3 мас. %), Г – контрастно-зональный (Cr_2O_3 в шпинели 45,04 мас. %)

Fig. 2. Micrographs of phlogopite macrocrystals with chromium spinelides inclusions in backscattered electrons
 A – low chromium non-zonal (Cr_2O_3 in spinel 46.66 wt. %), B – high chromium non-zonal (Cr_2O_3 in spinel 29.09 wt. %), C – slightly zonal (Cr_2O_3 in spinel 45.3 wt. %), D – contrast-zonal (Cr_2O_3 in spinel 45.04 wt. %)

Включения хромшпинелидов в зернах слюды встречаются от одного-двух до нескольких. Установлено, что они приурочены к низко- и высокохромистым незональным (или незначительно зональным) зернам слюды или к хромистым участкам контрастно-зональных макрокристаллов флогопита. Форма выделений включений шпинелидов подробно описана в [5].

Состав флогопитов

Изучение состава макрокристаллов флогопита с включениями хромшпинелидов показало следующее. Они принадлежат к высокотитанистой разновидности флогопитов с содержанием TiO_2 2,67–3,84 мас. % (рис. 3 А). Количество Al_2O_3 и значение Mg# в их составе меняется незначительно: 13,54–15,62 мас. % и 83,26–87,66 соответственно (рис. 3 Б).

По содержанию Cr_2O_3 выделяются две группы флогопитов: 0,19–0,61 и 0,75–1,55 мас. % (рис. 4 А). Они представляют незональные зерна флогопита, слагают ядра незначительно зональных кристаллов, их промежуточные и краевые зоны, а так же оболочки контрастно-зональных зерен. Встречаются ритмически-зональные кристаллы (рис. 4 Б), которые, вероятно, отражают порядок кристаллизации флогопитов разного состава в кимберлитах данного тела.

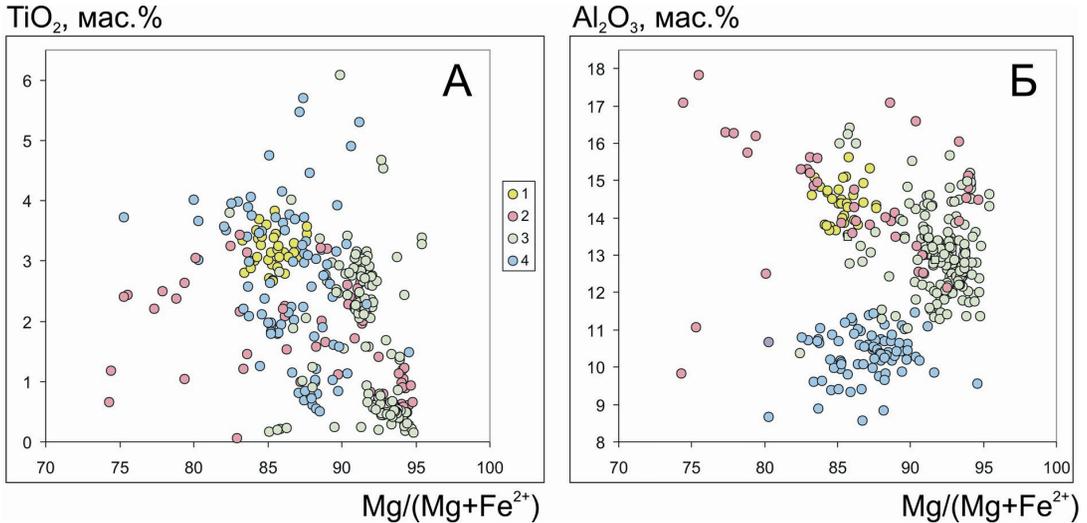


Рис. 3. Соотношение TiO_2 , Al_2O_3 и $\text{Mg}\#$ в составе флогопитов

1 – макрокристаллы с включениями хромшпинелидов из кимберлитов Ан-195, 2 – флогопиты из эклогитов [15-21], 3 – флогопиты из ксенолитов ультраосновного состава [12-18, 21], 4 – флогопиты из пород MARID-серии [15, 19]

Fig. 3. The ratio of TiO_2 , Al_2O_3 and $\text{Mg}\#$ in the composition of phlogopites

1 – macrocrystals with inclusions of chrome spinelides from kimberlites An-195, 2 – phlogopites from eclogites [15-21], 3 – phlogopites from xenoliths of ultrabasic composition [12-18, 21], 4 – phlogopites from rocks of the MARID series [15, 19]

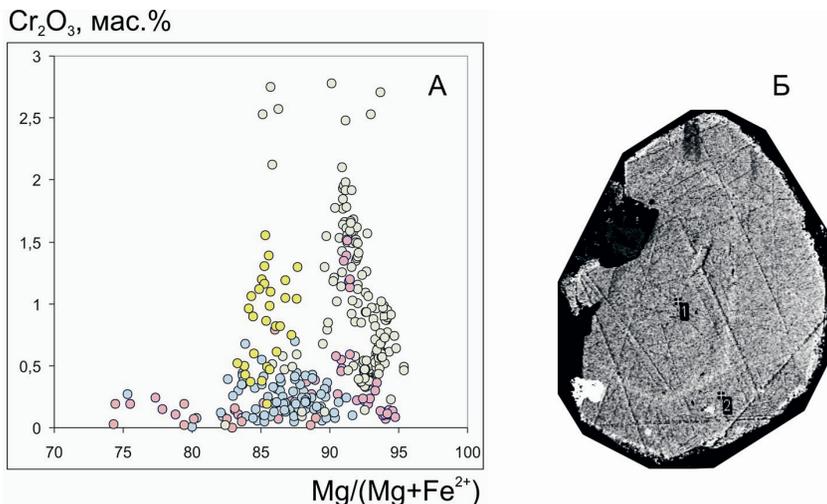


Рис. 4. Соотношение Cr_2O_3 и $\text{Mg}\#$ в составе макрокристаллов флогопита с включениями хромшпинелидов из кимберлитов Ан-195

А – результаты микрозондового анализа, Б – микрофотография зонального макрокристалла флогопита (содержание Cr_2O_3 : точка 1 – 0,5 мас. %; точка 2 – 0,82 мас. %). Условные обозначения смотри на рис. 3

Fig. 4. The ratio of Cr_2O_3 and $\text{Mg}\#$ in the composition of phlogopite macrocrystals with spinelides from An-195 kimberlites

А – results of microprobe analysis, Б – microphotography of a zonal macrocrystal of phlogopite (Cr_2O_3 content: point 1 – 0.5 wt. %; point 2 – 0.82 wt. %). See the symbols in Fig. 3

Наиболее широкие вариации в составе хромшпинелидов 1–3 генераций отмечаются для Cr_2O_3 (от 8,84 до 49,66 мас. %), TiO_2 (3,37 – 12,33 мас. %) и Mg\# (от 0,42 до 0,59). Более подробно состав включений шпинелидов приведен в [5].

Обсуждение и заключение

Как отмечалось в [4], по химическому составу высокохромистые включения шпинелидов (Cr_2O_3 44–50 мас. %, TiO_2 3–5,5 мас. %, Fe^{3+} <0,35 ф.е) аналогичны хромшпинелидов из пород фации катаклазированных дунитов. В работах [6–11] указывается, что в результате процессов катаклаза и воздействия высокотемпературного флюида возникли катаклазированные породы с гранат-пироксен-хромшпинелевыми сростками, зональные гранаты с включениями хромшпинелидов. Включения менее хромистых шпинелидов (Cr_2O_3 30–44 мас. %, TiO_2 4–7,5 мас. %, Fe^{3+} > 0,35 ф.е.), вероятно, кристаллизовались одновременно с фенокристалльными макрокристаллами флогопита и захватывались ими в процессе длительного совместного роста.

Сравнительный анализ содержаний TiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 и Mg\# изученных макрокристаллов флогопита из кимберлита Ан-195 с флогопитом из ксенолитов ультраосновного состава [12–18, 21], эклогитов [15–21], пород MARID-серии [15, 19] показал, что данные флогопиты не могли принадлежать ни к одной из вышеупомянутых пород. От флогопитов из пород MARID-серии при равных Mg\# и TiO_2 они чётко отличаются более высокими содержаниями Al_2O_3 . От флогопитов из ксенолитов ультраосновных мантийных пород – в целом меньшей магнезиальностью. От флогопитов из эклогитов – в целом более высоким содержанием Cr_2O_3 . Данные флогопиты, скорее всего, представляют собой фенокристалльную ассоциацию минералов кимберлитов.

Макрокристаллы флогопита с включениями хромшпинелидов принадлежат как минимум двум стадиям кимберлитового процесса. Первыми кристаллизовались флогопиты с более низким содержанием Cr_2O_3 , вторыми – с более высоким.

Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИГАБМ СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект НИР 0381-2019-0003.

Литература

1. Бабушкина, С.А. Состав включений шпинели, ильменита, граната и диопсида в макрокристаллах флогопита из кимберлитов Тр. Мир / С.А. Бабушкина, В.К. Маршинцев. – Текст : непосредственный // Геология и геофизика, 1997. – Т. 38 (2). – С. 440–450.
2. Бабушкина, С.А. Включения шпинелидов и ильменитов во флогопитах трубки Малокуонапской / С.А. Бабушкина. – Текст : непосредственный // Проблемы магматической и метаморфической петрологии, геодинамики и происхождения алмазов. Тезисы докладов Международной конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика В.С. Соболева, 2018. – С. 12.
3. Бабушкина, С.А. Новые данные о составе макрокристаллов флогопита из трубки «Юбилейная» / С.А. Бабушкина. – Текст : непосредственный // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о земле, 2019. – № 4 (16). – С. 41–46.
4. Корнилова, В.П., Специус З.В., Помазанский Б.С. Петрографо-минералогические особенности целесообразности переоценки алмазоносных кимберлитовых трубок Лорик и Светлана (Западно-Укукитское месторождение, Якутия) / В.П. Корнилова, З.В. Специус, Б.С. Помазанский – Текст: непосредственный // Региональная геология и металлогения, 2016. – № 68 – С. 92–99.
5. Бабушкина, С.А. Включения хромшпинелидов в макрокристаллах флогопита из кимберлитов Ан-195 Западно-Укукитского поля / С.А. Бабушкина. – Текст : непосредственный // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. – Материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 30-летию Академии наук Республики Саха (Якутия) и 40-летию геологоразведочного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова. – Якутск, 2023. – С. 34–39.

6. Соболев, Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии / Н.В. Соболев – Новосибирск: Наука, 1974. – 264 с. – Текст: непосредственный
7. Соболев, Н.В., Харьков А.Д., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н. Хромит-пироксен-гранатовые сростки из кимберлитовой трубки «Мир» / Н.В. Соболев, А.Д. Харьков, Ю.Г. Лаврентьев, Л.Н. Поспелова – Текст: непосредственный // Геология и геофизика, 1973. – № 12. – С. 15-20.
8. Шпинелиды мантийных пород / Мацюк С.С., Платонов А.Н., Польшин Е.В. и др.; под ред. В.И. Павлишина: Академия наук Украинской ССР. Институт геохимии и физики полезных ископаемых, – Киев: Наука, думка, 1989. – 212 с.
9. Бовкун, А.В., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Самсонов П.А. Эволюция состава шпинели из кимберлитов / А.В. Бовкун, В.К. Гаранин, Г.П. Кудрявцева, П.А. Самсонов – Текст: непосредственный // Геология алмазов – настоящее и будущее (геологи к 50-летию Мирного и алмазодобывающей промышленности России. / Под ред. Н.Н. Зинчука и др. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2005. – С. 941-950.
10. Самсонов, П.А., Бовкун А.В., Гаранин В.К. Шпинелиды из кимберлитов / П.А. Самсонов, А.В. Бовкун, В.К. Гаранин – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2008. – № 4. – С. 17-22.
11. Гаранин, В.К. Минералогия кимберлитов и родственных пород алмазоносных провинций России в связи с их генезисом и поисками: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук / В.К. Гаранин. – Москва, 2006. – 44 с. – Текст: непосредственный.
12. Соловьева, Л.В. Метасоматические и магматические процессы в мантийной литосфере Биректинского террейна Сибирского кратона и их влияние на эволюцию литосферы / Л.В. Соловьева, Т.В. Калашникова, С.И. Костровицкий [и др.]. – Текст : электронный // Геодинамика и тектонофизика, 2015. – Т. 6. – № 3. – С. 3100–344. <https://doi.org/10.5800/GT-2015-6-3-0184>
13. Специус, З.В. Процессы метасоматоза и частичного плавления в ксенолитах из кимберлитовых трубок Якутии: приложение к генезису алмазов / З.В. Специус – Текст: непосредственный // Глубинный магматизм, его источники и их связь с плюмовыми процессами. – Труды IV международного семинара. Улан-Удэ – Иркутск. Изд-во Института географии СО РАН, 2004. – С. 103–140.
14. Carswell, D. (). Primary and secondary phlogopites and clinopyroxenes in garnet lherzolitic xenoliths. International Kimberlite / D. Carswell. – Text: electronic // Conference: Extended Abstracts, 1/ – 1973. – P 59–62. <https://doi.org/10.29173/ikc846>
15. Dawson, J. B Kimberlites and their xenoliths / J. B. Dawson Berlin: Springer-Verlag, 1980. – 252 p. – Text: unmediated.
16. Erlank, A.J., Water, F. G., Hawkesworth, C. J., Haggerty, S. E., Allsopp, H. L., Rickard, R. S., and Menzies, M., 1987. Evidence for mantle metasomatic in peridotite nodules from kimberlite pipes, South Africa. In: Menzies, M.A. and Hawkesworth, C.J. (eds) Mantle metasomatic. London: Academic Press, pp. 221-311.
17. Spetsius, Z.V. and Taylor, L.A., 2002. Partial Melting in Mantle Eclogite Xenoliths: Connection with Diamond Paragenesis. In'l. Geology Review 44, 973-987.
18. Соболев, Н.В. Сингенетические включения флогопита в алмазах кимберлитов: свидетельство роли летучих в образовании алмазов / Н.В. Соболев, А.М. Логвинова, Э.С. Ефимова. – Текст : электронный // Геология и геофизика, 2009. – Т. 50. – № 12. – С. 1588–1606. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_13025437_20616586.pdf
19. Fitzpayne, A. Kimberlite-related metasomatism recorded in MARID and PIC mantle xenoliths / A. Fitzpayne, A. Giuliani, D. Phillips [et al.]. – Text : electronic // Miner Petrol 112 (Suppl 1), 71–84 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00710-018-0573-z>
20. Шацкий, В.С. Свидетельства метасоматического образования алмазов в ксенолите эклогита из кимберлитовой трубки Удачная (Якутия) / В.С. Шацкий, Д.А. Зедгенизов, А.Л. Рагозин [и др.]. – Текст : непосредственный // Доклады Академии Наук. – 2005. – Т. 402. – № 2. – С. 239–242.
21. Kargin, A. V. Phlogopite in mantle xenoliths and kimberlite from the Grib pipe, Arkhangelsk province, Russia: Evidence for multi-stage mantle metasomatism and origin of phlogopite in kimberlite [J] / A.V. Kargin,

L.V. Sazonova, A.A. Nosova, N.M. Lebedeva, Yu.A. Kostitsyn, E.V. Kovalchuk, V.V. Tretyachenko, Ya.S. Tikhomirova. – Text : electronic // *Geoscience Frontiers*, 2019, 10(5): 1941–1959. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.006>

References

1. Babushkina, S.A. Sostav vključenij shpineli, il'menita, granata i diopsida v makrokristallah flogopita iz kimberlitov Tr. Mir / S.A. Babushkina, V.K. Marshincev. – Tekst : neposredstvennyj // *Geologija i geofizika*, 1997. – T. 38 (2). – S. 440-450.
2. Babushkina, S.A. Vključenija shpinelidov i il'menitov vo flogopitah trubki Malokuonapskoj / S.A. Babushkina. – Tekst : neposredstvennyj // *Problemy magmaticheskoi i metamorficheskoi petrologii, geodinamiki i proishozhdenija almazov. Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii, posvjashhennoj 110-letiju so dnja rozhdenija akademika V.S. Soboleva*, 2018. – S. 12.
3. Babushkina, S.A. Novye dannye o sostave makrokristallov flogopita iz trubki “Jubilejnaja” / S.A. Babushkina. – Tekst : neposredstvennyj // *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Serija: Nauki o zemle*, 2019. – № 4 (16). – S. 41-46.
4. Kornilova, V.P., Specius Z.V., Pomazanskij B.S. Petrografo-mineralogicheskie osobennosti celesoobraznosti pereocenki almazonosnykh kimberlitovykh trubok Lorik i Svetlana (Zapadno-Ukukitskoe mestorozhdenie, Jakutija) / V.P. Kornilova, Z.V. Specius, B.S. Pomazanskij – Tekst : neposredstvennyj // *Regional'naja geologija i metallogenija*, 2016. – № 68 – S. 92-99.
5. Babushkina, S.A. Vključenija hromshpinelidov v makrokristallah flogopita iz kimberlitov An-195 Zapadno-Ukukitskogo polja / S.A. Babushkina. – Tekst : neposredstvennyj // *Geologija i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii. – Materialy XIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhennoj 30-letiju Akademii nauk Respubliki Saha (Jakutija) i 40-letiju geologorazvedochnogo fakul'teta SVFU im. M.K. Ammosova. – Jakutsk, 2023. – S. 34-39.*
6. Sobolev, N.V. Glubinnye vključenija v kimberlitah i problema sostava verhnjej mantii / N.V. Sobolev – Novosibirsk: Nauka, 1974. – 264 s. – Tekst: neposredstvennyj
7. Sobolev, N.V., Har'kov A.D., Lavrent'ev Ju.G., Pospelova L.N. Hromit-piroksen-granatovyje srostki iz kimberlitovoj trubki “Mir” / N.V. Sobolev, A.D. Har'kov, Ju.G. Lavrent'ev, L.N. Pospelova – Tekst: neposredstvennyj // *Geologija i geofizika*, 1973. – № 12. – S. 15-20.
8. Shpinelidy mantijnyh porod / Macjuk S.S., Platonov A.N., Pol'shin E.V. i dr.; pod red. V.I. Pavlishina: Akademija nauk Ukrainskoj SSR. Institut geohimii i fiziki poleznyh iskopaemyh, – Kiev: Nauka, dumka, 1989. – 212 s.
9. Bovkun, A.V., Garanin V.K., Kudrjavceva G.P., Samsonov P.A. Jevoljucija sostava shpineli iz kimberlitov / A.V. Bovkun, V.K. Garanin, G.P. Kudrjavceva, P.A. Samsonov – Tekst : neposredstvennyj // *Geologija almazov – nastojashhee i budushhee (geologi k 50-letiju Mirnogo i almazodobyvajushhej promyshlennosti Rossii. / Pod red. N.N. Zinchuka i dr. Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2005. – S. 941-950.
10. Samsonov, P.A., Bovkun A.V., Garanin V.K. Shpinelidy iz kimberlitov / P.A. Samsonov, A.V. Bovkun, V.K. Garanin – Tekst : neposredstvennyj // *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Geologija i razvedka*, 2008. – № 4. – S. 17-22.
11. Garanin, V.K. Mineralogija kimberlitov i rodstvennyh porod almazonosnyh provincij Rossii v svjazi s ih genezisom i poiskami: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora geologo-mineralogicheskikh nauk / V.K. Garanin. – Moskva, 2006. – 44 s. – Tekst: neposredstvennyj.
12. Solov'eva, L.V. Metasomaticheskie i magmaticheskie processy v mantijnoj litosfere Birektinskogo terrejna Sibirskogo kratona i ih vlijanie na jevoljuciju ditosfery / L.V. Solov'eva, T.V. Kalashnikova, S.I. Kostrovickij [i dr.]. – Tekst: jelektronnyj // *Geodinamika i tektonofizika*, 2015. – T. 6. – № 3. – S. 3100–344. <https://doi.org/10.5800/GT-2015-6-3-0184>
13. Specius, Z.V. Processy metasomatoza i chastichnogo plavljenja v ksenolitah iz kimberlitovykh trubok Jakutii: prilozhenie k genezisu almazov / Z.V. Specius – Tekst: neposredstvennyj // *Glubinnyj magmatizm, ego*

istochniki i ih svjaz's pljumovymi processami. – Trudy IV mezhdunarodnogo seminara. Ulan-Udje – Irkutsk. Izd-vo Instituta geografii SO RAN, 2004. – S. 103–140.m

14. Carswell, D. (). Primary and secondary phlogopites and clinopyroxenes in garnet lherzolite xenoliths. International Kimberlite / D. Carswell. – Text: electronic // Conference: Extended Abstracts, 1/ – 1973. – P 59–62. <https://doi.org/10.29173/ikc846>

15. Dawson, J. B Kimberlites and their xenoliths / J. B. Dawson Berlin: Springer-Verlag, 1980. – 252 p. – Text: unmediated.

16. Erlank, A.J., Water, F. G., Hawkesworth, C. J., Haggerty, S. E., Allsopp, H. L., Rickard, R. S., and Menzies, M., 1987. Evidence for mantle metasomatism in peridotite nodules from kimberlite pipes, South Africa. In: Menzies, M.A. and Hawkesworth, C.J. (eds) Mantle metasomatism. London: Academic Press, pp. 221–311.

17. Spetsius, Z.V. and Taylor, L.A., 2002. Partial Melting in Mantle Eclogite Xenoliths: Connection with Diamond Paragenesis. In'l. Geology Review 44, 973–987.

18. Sobolev, N.V. Singeneticheskie vkljuchenija flogopita v almazah kimberlitov: svidetel'stvo roli letuchih v obrazovanii almazov / N.V. Sobolev, A.M. Logvinova, Je.S. Efimova. – Tekst : jelektronnyj // Geologija i geofizika, 2009. – T. 50. – № 12. – S. 1588–1606.

https://www.elibrary.ru/download/elibrary_13025437_20616586.pdf

19. Fitzpayne, A. Kimberlite-related metasomatism recorded in MARID and PIC mantle xenoliths / A. Fitzpayne, A. Giuliani, D. Phillips [et al.]. – Text: electronic // Miner Petrol 112 (Suppl 1), 71–84 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00710-018-0573-z>

20. Shackij, V.S. Svidetel'stva metasomaticheskogo obrazovanija almazov v ksenolite jeklogita iz kimberlitovoj trubki Udachnaja (Jakutija) / V.S. Shackij, D.A. Zedgenizov, A.L. Ragozin [i dr.]. – Tekst: neposredstvennyj // Doklady Akademii Nauk. – 2005. – T. 402. – № 2. – S. 239–242.

21. Kargin, A. V. Phlogopite in mantle xenoliths and kimberlite from the Grib pipe, Arkhangelsk province, Russia: Evidence for multi-stage mantle metasomatism and origin of phlogopite in kimberlite [J] / A.V. Kargin, L.V. Sazonova, A.A. Nosova, N.M. Lebedeva, Yu.A. Kostitsyn, E.V. Kovalchuk, V.V. Tretyachenko, Ya.S. Tikhomirova. – Text: electronic // Geoscience Frontiers, 2019, 10(5): 1941–1959. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.006>

Сведения об авторах

БАБУШКИНА Светлана Анатольевна – к.г.-м.н., с.н.с. Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, e-mail: ssata@list.ru

BABUSHKINA Svetlana Anatolyevna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Research, Institute of Geology of Diamond and Precious Metals SB RAS, e-mail: ssata@list.ru