

С. А. Бабушкина

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия,
СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

МАНТИЙНЫЕ ФЛОГОПИТЫ ТРУБКИ ЛЕНИНГРАД (из брекчии с массивной текстурой цемента)

Аннотация. Трубка Ленинград (Западно-Укукитское поле Якутской кимберлитовой провинции) характеризуется убогой алмазоносностью. Это связывают с тем, что нижняя часть мантийной колонны под данным полем подверглась многостадийному метасоматозу. Целью настоящего исследования является установить признаки мантийного метасоматоза в кимберлитовых брекчиях трубки Ленинград. Для этого были поставлены следующие задачи: изучить состав всех петрографических разновидностей флогопита (как одного из главных показателей проявления метасоматоза); выявить среди них мантийные аналоги; провести сравнительный анализ состава флогопитов из трех разновидностей кимберлитовых брекчий, слагающих трубку; оценить вклад мантийного метасоматоза в процесс ее становления. Для решения поставленной задачи было проведено микронзондовое изучение состава флогопита (выборка из более 1000 зерен) из кимберлитовой брекчии с массивной текстурой цемента (КБМ), из автолитовой кимберлитовой брекчии (КБА) и из крупных автолитовых образований, достигающих размеров > 10 см, распространенных в автолитовой брекчии.

В ходе работы установлено, что флогопиты могли принадлежать как минимум восьми мантийным парагенезисам, а единичные зерна отвечают по составу аналогам флогопитов, отмеченных в качестве сингенетических включений в алмазах эклогитового и перидотитового парагенезисов из промышленных кимберлитовых трубок. Первые характеризуются высокотитанистым (> 4 мас. % TiO_2), умеренножелезистым $Mg\#$ [$100Mg/(Mg+Fe)$] от 68 до 75 и низкохромистым ($Cr_2O_3 < 0,1$ мас. %) составом. Для вторых отмечается высокая магнезиальность $Mg\#$ от 92 до 96, низкая и умеренная титанистость (< 1,5 мас. % TiO_2), хромистость этих флогопитов не превышает 0,6 мас. % Cr_2O_3 . Если аналоги включениям в алмазы перидотитового парагенезиса уже отмечались нами среди флогопитов из трубки Мир, то аналоги эклогитового парагенезиса встречены впервые. Эта находка определяет направления дальнейшей работы по ревизии имеющего аналитического материала на предмет выявления флогопитов не только мантийных, но и алмазоносных парагенезисов. В настоящей статье рассмотрен состав флогопитов из КБМ.

Ключевые слова: кимберлит, флогопит, метасоматоз, террейн, эклогитовый парагенезис, перидотитовый парагенезис, алмазоносность, автолитовая брекчия, автолит, кимберлитовая брекчия с массивной текстурой цемента, мантия.

S.A. Babushkina

Institute of Geology of Diamond and Precious Metals, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
Yakutsk, Russia,

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

MANTLE PHLOGOPITES OF LENINGRAD PIPE (from Breccia with a Massive Cement Texture)

Abstract. Pipe Leningrad (West Ukucisha field of the Yakutian kimberlite province) is characterized by poor diamond potential. This is due to the fact that the lower part of the mantle column under this field has undergone a multistage metasomatism. The aim of this study is to establish the signs of mantle metasomatism in

БАБУШКИНА Светлана Анатольевна – к.г.-м.н., с.н.с. Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, доцент СВФУ им. М.К.Аммосова.

E-mail: ssta@list.ru

BABUSHKINA Svetlana Anatolyevna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Research of Institute of Geology of Diamond and Precious Metals SB RAS, Associate Professor M.K. Ammosov North - Eastern Federal University.

E-mail: ssta@list.ru

kimberlite breccias of Leningrad pipe. For this purpose, the following tasks were set: to study the composition of all petrographic differences of phlogopite (as one of the main indicators of metasomatism); to identify mantle analogues among them; to conduct a comparative analysis of the composition of phlogopites from three varieties of kimberlite breccias composing the pipe; to assess the contribution of mantle metasomatism in the process of its formation. To solve this problem, a microprobe study of the composition of phlogopite (a sample of more than 1000 grains) from kimberlite breccia with a massive cement texture (КБМ), from autolith kimberlite breccia (КБА) and from large autolith formations reaching sizes > 10 cm, common in autolith breccia, was conducted.

During the work it was found that phlogopites could belong to at least eight mantle paragenesis, and single grains correspond to the composition of analogs of phlogopites, marked as syngenetic inclusions in diamonds of eclogite and peridotite paragenesis from industrial kimberlite pipes. The first are characterized by vysokotelym (> 4 wt. % TiO_2), moderate iron Mg\# [$100\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$] from 68 to 75 and low chromium ($\text{Cr}_2\text{O}_3 < 0.1$ wt. %) composition. For the second there is a high mg-number Mg\# of 92 to 96, low and moderate titanium content (< 1.5 wt. % TiO_2), CR those of the phlogopite does not exceed 0.6 wt. % Cr_2O_3 . If analogues of inclusions in diamonds and peridotite paragenesis mentioned us among phlogopite from the pipe World, counterparts of the eclogite paragenesis met for the first time. This finding determines the directions of further work on the audit of the analytical material for the detection of phlogopites not only mantle, but also diamond-bearing paragenesis. In this article we examined the composition of phlogopite from the MSC.

Keywords: kimberlite, phlogopite metasomatism, terrane, eclogite paragenesis, and peridotite paragenesis, diamond content, avtolitic breccia, avtolit, kimberlite breccia with a massive texture of the cement, mantle.

Введение

Кимберлитовая трубка Ленинград расположена в Западно-Укукитском поле Анабаро-Оленекской субпровинции, приуроченной к Хапчанскому гранулит-парагнейсовому террейну палеопротерозойского возраста [1]. По данным АК «АЛРОСА» количество кимберлитовых тел в данном поле около 90, и только четыре из них несут следы убогой алмазности (Ленинград, Русловая, Светлана, Лорик) [2]. Однако после ревизии имеющихся данных и на основе новых исследований предполагается, что продуктивность трубок Светлана и Лорик выше, и они относятся к среднеалмазным источникам [3]. Все трубки имеют среднепалеозойский возраст, что соответствует продуктивной эпохе кимберлитового магматизма Якутской алмазной провинции [4]. Её снижение до убого – и среднеалмазного уровня связывают с многостадийным метасоматозом [5], приведшим к неоднородности литосферной мантии под северными полями Якутской кимберлитовой провинции [6, 7].

Установлено и доказано, что флогопит является наиболее распространенным минеральным индикатором мантийного метасоматоза [8, 9]. В кимберлиты такой флогопит попадает при дезинтеграции мантийных ксенолитов и характеризуется определенным химическим составом [10], аналогичным для флогопитов, диагностированных и в самих мантийных нодулях [11, 12]. Поскольку изучение флогопитов из самих кимберлитов как носило, так и носит фрагментарный характер, следов, подобных включениям в алмазы, практически не обнаружено. Это связано ещё и с тем, что и в самих алмазах флогопит относится к числу редких включений. За многолетнюю историю изучения таких находок установлено меньше сорока [13].

Образцы и методы исследования

Монофракция флогопитов была отобрана из проб кимберлитовых пород, слагающих трубку Ленинград, собранных В.П. Корниловой и О.Б. Олейниковым во время полевых работ. Трубка выполнена двумя основными разностями: КБМ и КБА, которые слагают разные части трубки и предположительно относятся к двум фазам внедрения. Помимо этого, в КБА встречаются крупные автолитовые образования, сложенные КБМ. Вопрос о самостоятельности фазы этой разности пород пока открыт.

Мега- и макрокристаллы закладывались в эпоксидные шашки, микрокристаллы изучались в аншлифах. Помимо определения состава флогопитов проводилось исследование всех зерен на наличие в них кристаллических включений, результаты которого учитывались при установлении парагенезиса слюды. Кроме того, каждое зерно, превышающее размер зонда, исследовалось на наличие зональности. Определение состава минералов проводилось в ИГАБМ СО РАН на сканирующем электронном микроскопе JSM-6480LV фирмы Jeol по стандартной методике.

Результаты

Результаты определения состава флогопита представлены в табл. Парагенезисы определялись на основе сопоставления микронзондовых анализов изученных зерен с опубликованными данными по составам слюд из мантийных ксенолитов и включений флогопита в алмазах [11-14]. Полученные результаты рассмотрены отдельно для разных пород, слагающих трубку Ленинград.

Флогопиты КБМ. Всего было изучено 150 зерен слюды. Из них к мантийным парагенезисам можно отнести 50 зерен. Особенности состава позволяют с большой долей достоверности отнести их к нескольким парагенезисам.

Флогопит, аналогичный составу слюд из равновесных метасоматитов – перидотитов и пироксенитов, испытавших субсолидусное охлаждение, распад твердых растворов в пироксенах и метаморфическую перекристаллизацию [11]. Соотношение TiO_2 (2,28 – 2,89 мас. %), Cr_2O_3 (0,837 – 1,1 мас. %) и $Mg\#$ 88,74 – 91,73 показаны на рис. Химический состав минералов в равновесных метасоматитах А близок минералам из перидотитов и пироксенитов без проявленных метасоматических процессов [11].

Состав этих слюд постепенно переходит в другую группу, состав которой аналогичен таковому для вторичной слюды, замещающей гранаты лерцолитов [14]. В слюдах происходит снижение количества TiO_2 (1,73 – 2,1 мас. %) на фоне возрастания $Mg\#$ 91,12 – 92,5 и Cr_2O_3 (1,16 – 1,42 мас. %). Это установлено по составу центральной и краевой части зонального флогопита. Самое высокохромистое и высокомагнезиальное зерно флогопита по соотношению $TiO_2 = 1,28$ мас. % и $Mg\#$ 93,6 близко флогопиту, включенному в алмаз лерцолитового парагенезиса [13], отличаясь более высокой хромистостью – 2,84 мас. % Cr_2O_3 .

Следующая группа флогопитов связана своим происхождением с породами флогопит-ильменитовой серии (Phl-Ilm-серия) [11]. Для флогопита этой группы характерны следующие содержания показательных элементов состава: TiO_2 (1,07 – 3,33 мас. %), Cr_2O_3 (< 0,583 мас. %) и $Mg\#$ 84,99 – 88,35.

Близкие количества хрома и титана присущи и слюдам, происходящим, вероятно из MARID-ов и эклогитов [11, 14], хотя для последних отмечается увеличение содержания TiO_2 от 0,884 до 2,54 мас. % на фоне падения магнезиальности слюд от 91,95 до 74,45. При этом слюды из MARID-ов более титанистые, чем слюды из эклогитов.

Одно зерно отвечает по составу аналогам из пород либо Mg-серии (пироксенит-перидотитовая), либо из метасоматитов С-типа (с неравновесной слюдой и другими минералами, замещающими гранат), либо первичным слюдам из перидотитов, согласно [14]. В метасоматитах С-типа флогопит входит в состав метасоматической ассоциации флогопит + Cr -диопсид + хромит ± сульфиды ± графит, интенсивно замещающих гранат [11]. Содержание TiO_2 составляет 0,096 мас. %, Cr_2O_3 0,588 мас. % и $Mg\#$ 94,74.

Заключение

Флогопиты из КБМ трубки Ленинград близки по особенностям состава, выраженным в соотношении TiO_2 , Cr_2O_3 и $Mg\#$, к флогопитам разных мантийных парагенезисов, таких как равновесные и реакционные метасоматиты, породы Phl-Ilm-серии, эклогиты и MARID-ы. Наличие подобных флогопитов в кимберлитовой брекчии свидетельствует о том, что слюды попали в кимберлиты при дезинтеграции мантийных нодулей. Увеличение содержаний хрома и магнезиальности на фоне понижения количества титана от первой ко второй группе может свидетельствовать о явно метасоматической природе данных слюд. Все выявленные парагенезисы связаны с разными этапами эволюции мантийной литосферы. Судя по закономерностям изменения состава ксеногенного флогопита КБМ, выделяется как минимум 4 этапа метасоматической проработки протопород под трубкой Ленинград. Единственное зерно, которое близко по соотношению TiO_2 и $Mg\#$ флогопитам включениям в алмазы лерцолитового парагенезиса, обладает повышенно хромистой. Это также может указывать на более глубокую метасоматическую проработку лерцолитов, повлиявшую на общую алмазоносность КБМ. Изначальная близость состава слюд из предполагаемых эклогитового, Phl-Ilm-го парагенезисов и пород MARID-типа вероятно свидетельствует об их едином родоначальном источнике. Различные тренды дальнейшей эволюции также могут быть объяснены различными стадиями метасоматоза.

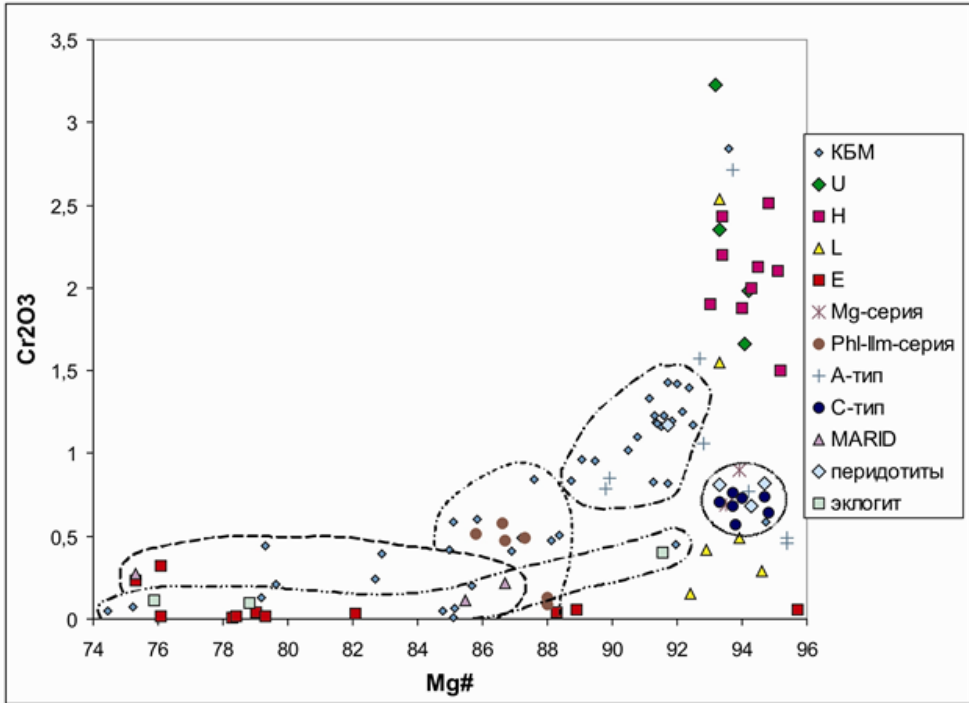


Рис. 1. Соотношение $TiO_2 - Mg\#$ в составе флогопитов, включенных в алмазы, из мантийных ксенолитов и из КБМ трубки Ленинград

Условные обозначения: U – ультраосновной, H – дунит-гарцбургитовый, L – лерцолитовый, E – эклогитовый парагенезисы.

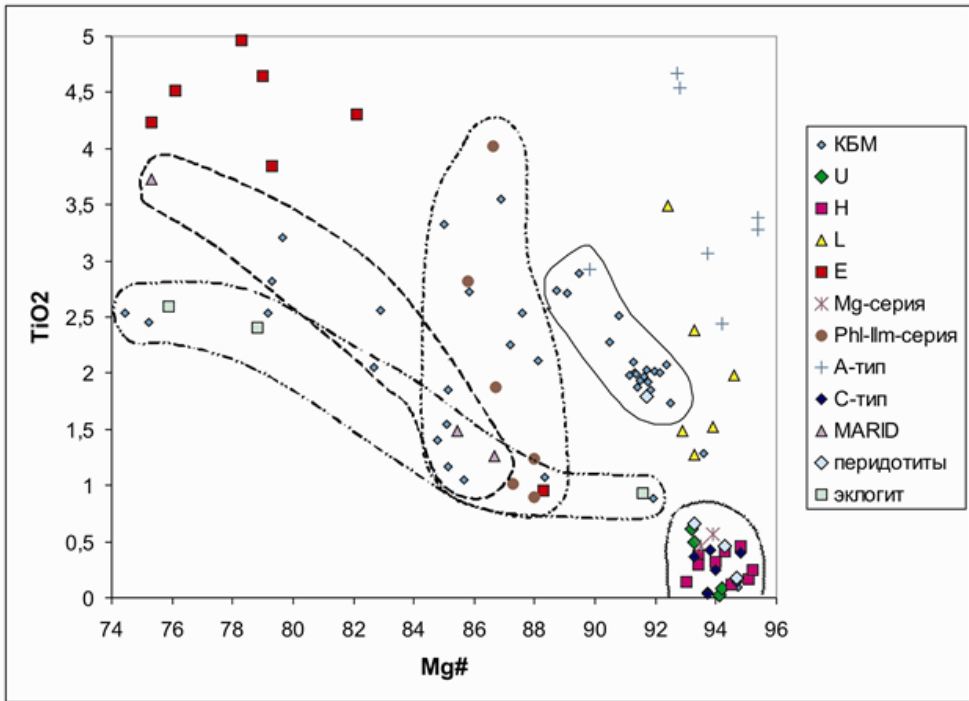


Рис. 2. Соотношение $Cr_2O_3 - Mg\#$ в составе флогопитов, включенных в алмазы, из мантийных ксенолитов и из КБМ трубки Ленинград

Условные обозначения: U – ультраосновной, H – дунит-гарцбургитовый, L – лерцолитовый, E – эклогитовый парагенезисы.

Литература

1. Зайцев А.И., Смелов А.П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции. – Якутск: Офсет, 2010. – 108 с.
2. Аргунов К.П. Результаты изучения алмазности территории главных алмазодобывающих стран мира. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. – 176 с.
3. Корнилова В.П. Петрографо-минералогические особенности и целесообразность переоценки алмазности кимберлитовых трубок Лорик и Светлана (Западно-Укукитское поле, Якутия) / В.П. Корнилова, З.В. Специус, Б.С. Помазанский // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 68. – С. 92-99.
4. Брахфогель Ф.Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. – 128 с.
5. Ashchepkov I.V., Alymova N.V., Logvinova A.M., Vladykin N.V., Kuligin S.S., Mityukhin S.I., Downes H., Stegnitsky Y.B., Prokopiev S.A., Salikhov R.F., Palessky S.V., Khmelnikova O.S. Picroilmenites in Yakutian kimberlites: Variations and genetic models // Solid Earth. – 2014. – Vol.5, Iss. 2. – P. 915-938.
6. Костровицкий С.И. Неоднородность литосферной мантии под северными полями Якутской кимберлитовой провинции // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 15. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2017. – С. 142-144.
7. Ashchepkov I.V., Vladykin N.N., Ntaflou T., Kostrovitsky S.I., Prokopiev S.A., Downes H., Smelov A.P., Agashev A.M., Logvinova A.M., Kuligin S.S., Tychkov N.S., Salikhov R.F., Stegnitsky Yu.B., Alymova N.V., Vavilova M.A., Minin V.A., Babushkina S.A., Ovchinnikov Yu.I., Karpenko M.A., Tolstov A.V., Shmarov G.P. Layering of the lithospheric mantle beneath the Siberian Craton: Modeling using thermobarometry of mantle xenolith and xenocrysts // Tectonophysics. – 2014. – № 5. – P. 55-75.
8. Сафонов О.Г. Реакции-индикаторы активности К и Na в верхней мантии: природные и экспериментальные данные, термодинамическое моделирование / О.Г. Сафонов, В.Г. Бутвина // Геохимия. – 2016. – № 10. – С. 893-908.
9. Сокол А.Г. Условия образования флогопита при взаимодействии карбонатных расплавов с перидотитами субкратонной литосферы / А.Г. Сокол, А.Н. Крук, Д.А. Чеботарев, Ю.Н. Пальянов, Н.В. Соболев // ДАН. – 2015. – Т. 462. – № 6. – С. 696-700.
10. Бабушкина С.А. Особенности составов макрокристов флогопита из алмазносных кимберлитовых трубок Якутии / С.А. Бабушкина // ЗВМО. – 2002. – № 6. – С. 75-78.
11. Соловьева Л.В. Метамагматические парагенезисы в глубинных ксенолитах из трубок Удачная и Комсомольская-Магнитная – индикаторы переноса флюидов через мантийную литосферу Сибирского кратона / Л.В. Соловьева, Т.А. Ясныгина, К.Н. Егоров // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 12. – С. 1698-1721.
12. Соловьева Л.В. Флогопитовые и флогопит-амфиболовые парагенезисы в литосферной мантии Беректинского террейна Сибирского кратона / Л.В. Соловьева, Т.В. Калашникова, С.И. Костровицкий, А.В. Иванов, С.С. Мацюк, Л.Ф. Суворова // ДАН. – 2017. – т. 475, № 3. – С. 310-315.
13. Соболев Н.В. Сингенетичные включения флогопита в алмазах кимберлитов: свидетельство роли летучих в образовании алмазов / Н.В. Соболев, А.М. Логвинова, Э.С. Ефимова // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51. – № 2. – С. 1588-1606.
14. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. – М.: Мир, 1983. – 300 с.

References

1. Zajcev A.I., Smelov A.P. Izotopnaya geohronologiya porod kimberlitovoj formacii YAkutskoj provincii. – Yakutsk: Ofset, 2010. – 108 s.
2. Argunov K.P. Rezul'taty izucheniya almazonosnosti territorii glavnyh almazodobyvayushchih stran mira. – Yakutsk: Izd-vo YANC SO RAN, 2006. – 176 s.
3. Kornilova V.P. Petrografo-mineralogicheskie osobennosti i celesoobraznost' pereocenki almazonosnosti kimberlitovyh trubok Lorik i Svetlana (Zapadno-Ukukitskoe pole, YAkutiya) / V.P. Kornilova, Z.V. Specius, B.S. Pomazanskij // Regional'naya geologiya i metallogeniya. – 2016. – № 68. – S. 92-99.

4. Brahfogel' F.F. Geologicheskie aspekty kimberlitovogo magmatizma severo-vostoka Sibirskoj platformy. – YAkutsk: YAF SO AN SSSR, 1984. – 128 s.
5. Ashchepkov I.V., Alymova N.V., Logvinova A.M., Vladykin N.V., Kuligin S.S., Mityukhin S.I., Downes H., Stegnitsky Y.B., Prokopiev S.A., Salikhov R.F., Palessky S.V., Khmelnikova O.S. Picroilmenites in Yakutian kimberlites: Variations and genetic models // *Solid Earth*. – 2014. – Vol.5, Iss. 2. – P. 915-938.
6. Kostrovickij S.I. Neodnorodnost' litosfernoj mantii pod severnymi polyami YAkutskoj kimberlitovoj provincii // *Geodinamicheskaya ehvolyuciya litosfery Central'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu): Materialy soveshchaniya*. Vyp. 15. – Irkutsk: Institut zemnoj kory SO RAN, 2017. – S. 142-144.
7. Ashchepkov I.V., Vladykin N.N., Ntaflou T., Kostrovitsky S.I., Prokopiev S.A., Downes H., Smelov A.P., Agashev A.M., Logvinova A.M., Kuligin S.S., Tychkov N.S., Salikhov R.F., Stegnitsky Yu.B., Alymova N.V., Vavilova M.A., Minin V.A., Babushkina S.A., Ovchinnikov Yu.I., Karpenko M.A., Tolstov A.V., Shmarov G.P. Layering of the lithospheric mantle beneath the Siberian Craton: Modeling using thermobarometry of mantle xenolith and xenocrysts. // *Tectonophysics*. – 2014. – № 5. – R. 55-75.
8. Safonov O.G. Reakcii-indikatory aktivnosti K i Na v verhnej mantii: prirodnye i ehksperimental'nye dannye, termodinamicheskoe modelirovanie / O.G. Safonov, V.G. Butvina // *Geohimiya*. – 2016. – № 10. – S. 893-908.
9. Sokol A.G. Usloviya obrazovaniya flogopita pri vzaimodejstvii karbontitovyh rasplavov s peridotitami subkratonnoj litosfery / A.G. Sokol, A.N. Kruk, D.A. Chebotarev, YU.N. Pal'yanov, N.V. Sobolev // *DAN*. – 2015. – T. 462. – № 6. – S. 696-700.
10. Babushkina S.A. Osobennosti sostavov makrokristov flogopita iz almazonosnyh kimberlitovyh trubok YAkutii / S.A. Babushkina // *ZVMO*. – 2002. – № 6. – S. 75-78.
11. Solov'eva L.V. Metaomatische paragenезisy v glubinnyh ksenolitah iz trubok Udachnaya i Komsomol'skaya-Magnitnaya – indikatorы perenosa flyuidov cherez mantijnuyu litosferu Sibirskogo kratona / L.V. Solov'eva, T.A. YAsnygina, K.N. Egorov // *Geologiya i geofizika*. – 2012. – T. 53, № 12. – S. 1698-1721.
12. Solov'eva L.V. Flogopitovye i flogopit-amfibolovye paragenезisy v litosfernoj mantii Berektinskogo terrejna Sibirskogo kratona / L.V. Solov'eva, T.V. Kalashnikova, S.I. Kostrovickij, A.V. Ivanov, S.S. Macyuk, L.F. Suvorova // *DAN*. – 2017. – t. 475, № 3. – S. 310-315.
13. Sobolev N.V. Singenetichnye vklucheniya flogopita v almazah kimberlitov: svidetel'stvo roli letuchih v obrazovanii almazov / N.V. Sobolev, A.M. Logvinova, E.H.S. Efimova // *Geologiya i geofizika*. – 2010. – T. 51. – № 2. – S. 1588-1606.
14. Douson Dzh. Kimberlity i ksenolity v nih. – M.: Mir, 1983. – 300 s.