

## ПЕТРОЛОГИЯ, ВУЛКАНОЛОГИЯ

УДК 552.63

## Самородная платина в хондрите

Н. Ю. Никулова, В. Н. Филиппов, А. С. Шуйский, Б. А. Макеев

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

167982, Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 54

E-mail: Nikulova@geo.komisc.ru

*(Статья поступила в редакцию 30 августа 2019 г.)*

Приведены первые результаты изучения самородной платины, микровключения которой обнаружены в углеродистом веществе и хромитах из обыкновенного хондрита. Самородная платина образует мелкие зерна и сростки кубических микрокристаллов, большинство которых свободны от примесей. Определен состав содержащих платину хромшпинелидов и установлено, что он соответствует земным аналогам из ультраосновных пород мантийного происхождения. Сделано предположение о магматическом происхождении содержащего платину углерода.

Ключевые слова: *платина, углеродистое вещество, хромит.*

DOI: 10.17072/psu.geol.19.1.38

## Введение

Распространенные в метеоритах самородные металлы обычно представлены железом, железо-никелевыми интерметаллидами и медью (Силаев и др., 2013; Соботович, Семенов, 1985; Юдин, Коломенский, 1987; Cohen, 2004; Connolly et al., 2001; Grossman, Wasson, 1985 и др.). Самородная платина в метеоритах, в отличие от железа, никеля и меди, до настоящего времени не была описана, хотя известно, что платина содержится в метеоритах всех петрологических типов. В литературе, посвященной исследованию вещественного состава метеоритов, отмечено присутствие платины как химического элемента, определенного различными химическими и физико-химическими методами, в том числе нейтронно-активационным (НА), атомно-абсорбционным (АА), рентгенофлуоресцентным (РФ) и масс-спектрометрическим (ICP MS) (Виноградов и др., 1972; Галимов и др., 2013; Литасов и др., 2018; Alexander, 1995; Laretta et al., 2005; McDonald, Russell, 2001; Wasson, Kallemeeyen, 1988), но отсутствуют сведения о форме ее нахождения.

## Объект исследований

Самородная платина обнаружена нами при изучении метеорита SE, найденного в пустыне Атакама (24°42' 15.3 ю. ш., 69°45'24.5 з. д) и любезно предоставленного для изучения его первооткрывателями. По соотношению железистости оливина и ортопироксена (Brearley, Jones, 1998) метеорит относится к группе обыкновенных хондритов петрологического типа НЗ. Слагающая метеорит порода имеет массивную текстуру и хондритовую структуру. Хорошо сохранившиеся хондры размером 0.2–1.3 мм занимают около 80 % объема породы. Особенностью изученного нами метеорита является присутствие наряду с радиально-лучистыми, колосниковыми, криптористаллическими и порфирированными оливиновыми и пироксеновыми хондрами также хондр, сложенных породами более ранней генерации и окруженными, как правило, каймой углеродистого вещества.

Преобладающими минералами являются ромбический пироксен и оливин. Второстепенные и акцессорные минералы представлены серпентином, натриевым плагиоклазом, расплавленным полевошпатовым стеклом, хромшпинелидами, апатитом, хлорапатитом,

баитом, кальцитом, цирконом, титанитом, пирротином, макинавитом, камаситом и тэнитом. Самородная платина присутствует в виде включений в углеродистом веществе и хромшпинелидах.

## Материалы и методы

Из дезинтегрированной породы зерна углеродистого вещества и хромшпинелидов, не разрушившиеся благодаря высокой твердости при дроблении и даже растирке, извлечены посредством обработки смесью концентрированных хлорной и фтористоводородной кислот при нагревании до 200°C и помещены в эпоксидный диск для исследования.

Микрозондовые исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA3 LMN с энергодисперсионной приставкой X-MAX 50 mm (Oxford instruments) при ускоряющем напряжении 20 кВ, диаметре зонда 180 нм и области возбуждения до 5 мкм (ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН).

## Результаты исследования

Углеродистое вещество, обнаруженное изначально при изучении шлифов, образует причудливой формы обособления (рис. 1,а) или тонкой корочкой окружает отдельные хондры, сложенные породой, вероятно, более ранней генерации (рис. 1,в). В минералогической пробе первые представлены зернами неправильной формы (рис. 1,б), вторые – зернами подковообразной формы (рис. 1,г) и более мелкими фрагментами микросфер, внутри которых располагались силикатные хондры. Зерна углеродистого вещества (рис. 2,а), обладающие сложным некристаллографическим рельефом поверхности, содержат многочисленные микровключения, около двух третей которых представлены хромшпинелидами и треть – самородной платиной (рис. 1,д, 2,в).

Содержащие микрокристаллы самородной платины, а также оксида кремния (кристобалита или коэсита) зерна и кубооктаэдрические кристаллы хромшпинелидов часто имеют на поверхности объемные отпечатки (рис. 1,е), образовавшиеся, вероятно, в ре-

зультате растворения при обработке пробы ильменитов, часто присутствующих в сростках с хромшпинелидами. Состав хромшпинелидов (рис. 2,б) соответствует формуле  $(\text{Fe}_{0.65-0.70}\text{Mg}_{0.07-0.15}\text{Zn}_{0-0.02}\text{Mn}_{0-0.02})_{0.8-0.9}(\text{Cr}_{1.78-1.99}\text{Al}_{0.18-0.38}\text{Ti}_{0.02-0.03}\text{V}_{0-0.03})_{2.1-2.2}\text{O}_4$ .

Самородная платина образует сростки кубических микрокристаллов или неопределимой из-за малого размера формы зерна размером 0.5–5.0  $\mu\text{m}$ , частично погруженные в углеродистое вещество или хромит (рис. 1, д–з). В 26 из 30 исследованных зерен платина не имеет примесей (рис. 2,в). В трех зернах в качестве примеси обнаружено от 0.88 до 1.23 мас. % золота (рис. 2,г) и в одном зерне – 0.39 мас. % серебра (рис. 2,д).

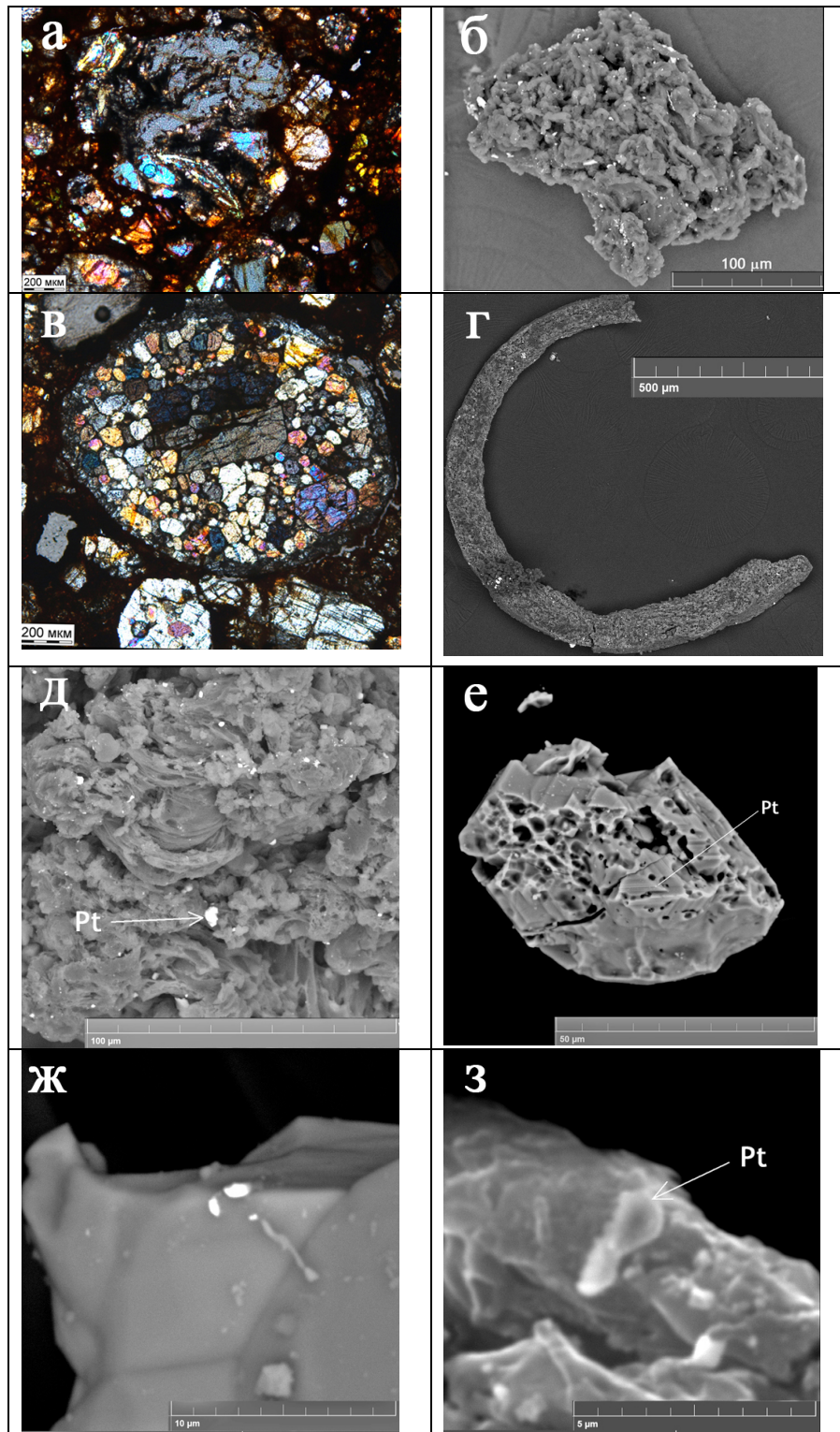
## Обсуждение результатов

Состав исследованных нами содержащих самородную платину хромитов аналогичен составу хромитов из метеоритов Н и L типов (Галимов и др., 2013; Ерохин и др., 2015, 2016, 2017; Коротеев и др., 2013, 2014; Силаев и др., 2013).

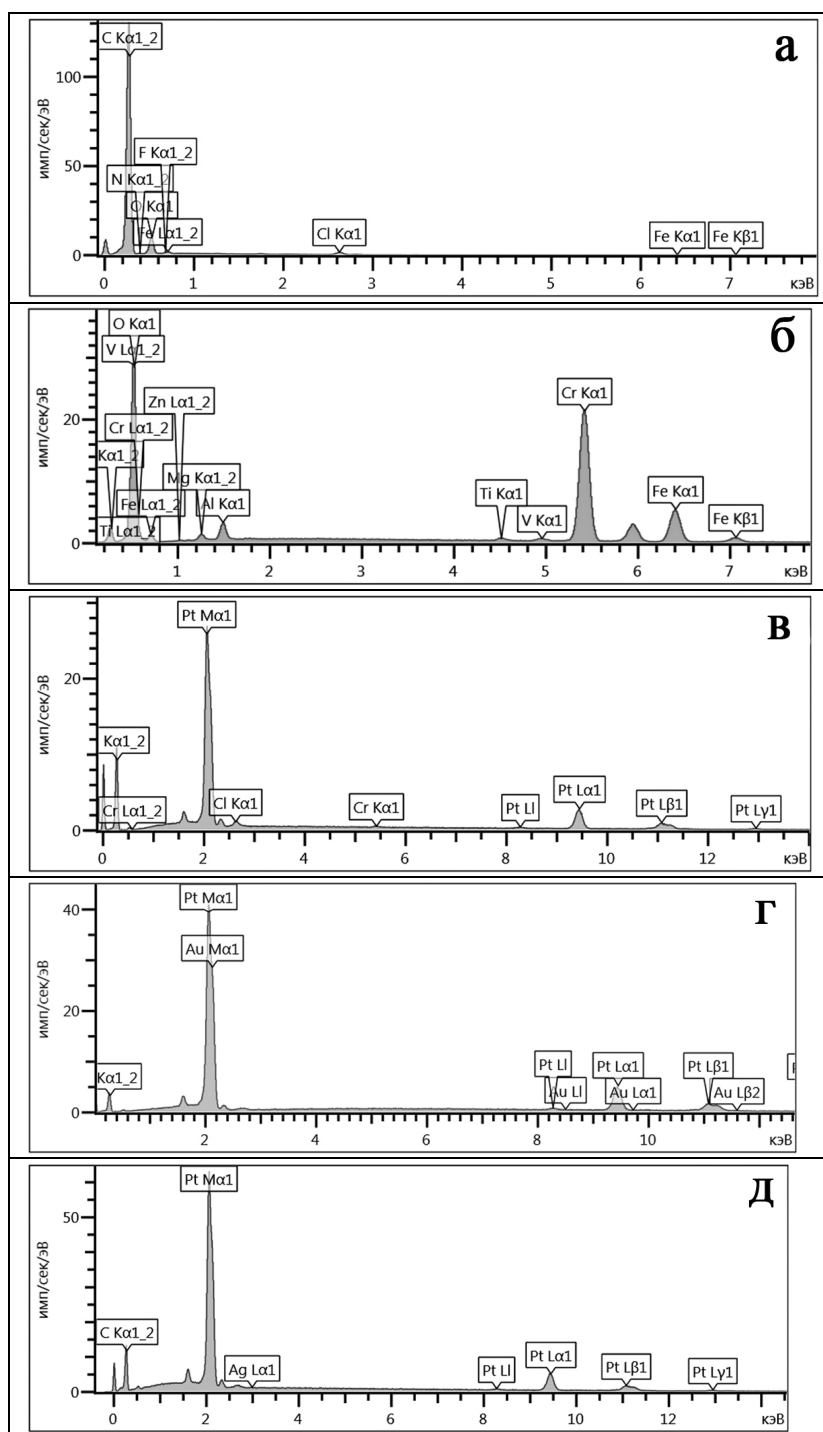
В сравнении с хромитами земного происхождения изученные хромиты обнаруживают наибольшее сходство с хромитами из мантийных ультраосновных пород (Павлов, 1949). В земных условиях самородная платина в чистом виде встречается редко, а характер распределения и поведения платиноидов в магматогенных месторождениях зависит от P-T условий в эволюционирующей рудно-магматической системе. Образование самородной платины, температура плавления которой 1755°C, возможно в восстановительной обстановке при дифференциации магмы как в мантии, так и в коровых условиях. Наиболее обогащенными минералами платины являются дунит гарцбургитовые породы офиолитовой ассоциации, исходная магма которых происходит из наиболее глубоких высокотемпературных выплавов мантийного вещества (Салихов и др., 2001).

## Выводы

Нашими исследованиями впервые установлена форма нахождения платины в обы-



**Рис. 1.** Содержащие платину углеродистое вещество и хромитпинелиды: а – аморфное углеродистое вещество (шлиф); б – типичное зерно углеродистого вещества (обр. 10); в – пироксеноливиновая хондра, окруженная микросферой из углеродистого вещества (шлиф); г – обломок углеродистой микросферы (обр. 2); д – самородная платина в углеродистом веществе (обр. 4); е – кристалл хромита с микровключениями платины (обр. 17); з – зерна платины в хромитпинели (обр. 18); ж – сrostок кубических кристаллов платины в хромитпинели (обр. 15). Снимки б, д – в режиме вторичных электронов; г, е, ж, з – в режиме упруго-отраженных электронов



**Рис. 2.** Рентгеновские спектры: а – углеродистое вещество; б – хромшпинель; в – не содержащее примесей зерно платины из хромшпинели; г – зерно платины с примесью золота; д – зерно платины с примесью серебра

кновенном хондрите – самородная платина в виде микровключений содержится в углеродистом веществе и хромшпинелидах.

Присутствие в углеродистом веществе микровключений самородной платины свидетельствует о его магматическом происхождении.

Состав содержащих микровключения самородной платины хромшпинелидов соответствует земным из мантийных ультраосновных пород и аналогичен хромшпинелидам из известных хондритов Н и L типов, что позволяет предположить возможность ее обнаружения и в других подобных объектах.

Авторы признательны С. П. Васильеву и С. В. Ефимову, предоставившим материал для изучения, и О. В. Кошкиаровой за помощь в проведении исследований.

### Библиографический список

Виноградов А.П., Лаврухина А.К., Ганиев А.Т. и др. Распределение платиноидов и золота между разными фазами метеоритного вещества. Сообщение 1 // Геохимия. 1972. № 12. С. 1461–1468.

Галимов Э. М., Колотов В. П., Назаров М. А., Костицын Ю. А., Кубракова И. В., Кононкова Н. Н., Рощина И. А., Алексеев В. А., Кашкаров Л. Л., Бадюков Д. Д., Севастьянов В. С. Результаты вещественного анализа метеорита «Челябинск» // Геохимия. 2013. № 7. С. 580–598.

Ерохин Ю. В., Коротеев В. А., Хиллер В. В., Бурлаков Е. В., Иванов К. С., Клейменов Д. А. Метеорит «Кунашак»: новые данные по минералогии // ДАН. 2015. Т. 464, № 5. С. 599–602. Doi: 10.7868/s0869565215290198

Ерохин Ю.В., Коротеев В. А., Хиллер В.В., Бурлаков Е.В., Иванов К.С., Клейменов Д.А. Метеорит «Озерное»: новые данные по минералогии // ДАН. 2016. Т. 471, № 5. С. 579–582.

Ерохин Ю. В., Коротеев В. А., Хиллер В. В., Бурлаков Е. В., Иванов К. С., Клейменов Д. А. Метеорит «Каргаполье»: новые данные по минералогии // ДАН. 2017. Т. 477, № 5. С. 582–585.

Коротеев В. А., Ерохин Ю. В., Хиллер В. В., Бурлаков Е. В., Иванов К. С., Клейменов Д. А. Метеорит «Урал»: новые данные по минералогии // ДАН. 2014. Т. 459. № 1. С. 80.

Литасов К. Д., Исикава А., Бажан И. С., Пономарев Д. с., Хирата Т., Подгорных Н. М., Похиленко Н. П. Микроэлементный состав и классификационные признаки метеорита «Чинге» // ДАН. 2018. Т. 478. № 1. С. 81–85.

Павлов Н. В. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов. М.: Наука, 1949. 88 с. (Труды института геологических наук. Вып. 103. Серия рудных месторождений. № 13).

Салихов Д.Н., Юсупов С.Ш., Ковалев С.Г., Бердников П.Г., Хамитов Р.А. Полезные ископа-

емые республики Башкортостан (металлы платиновой группы). Уфа: Экология, 2001. 223 с.

Силаев В.И., Голубева И.И., Филиппов В.Н., Лютоев В.П., Симакова Ю.С., Потанов С.С., Петровский В.А., Хазов А.Ф. Метеорит «Челябинск»: минералого-петрографическая характеристика // Вестник Пермского университета. Геология. 2013. Вып. 2 (19). С. 8–27.

Соботович Э.В., Семенов В.П. Происхождение метеоритов. Киев: Наук. Думка, 1985. 204 с. Sobotovitch E. V., Semenenko V. P. Proischozhdenie meteoritov [Origin of meteorites]. Kiev: Nauk. dumka. 1985. 204 p. (in Russian).

Юдин И. А., Коломенский В.Д. Минералогия метеоритов / УНЦ АН СССР. Свердловск, 1987. 200 с.

Alexander C.M. O'D. Trace element contents of chondrulerims and interchondrule matrix in ordinary chondrites // Geochim. Cosmochim. Acta, 1995. Vol. 59. P. 3247–3266.

Brearley A.J. and Jones R H. Chondritic meteorites // Planetary Materials. Washington: Mineralogical Society of America. 1998. P. 35–38.

Cohen B. A. and Hewins R. H. An experimental study of the formation of metallic iron in chondrules // Geochim. Cosmochim. Acta, 2004. Vol. 68. P. 1677–1689.

Connolly H.C., Huss G.R. and Wasserburg G.J. On the formation of Fe-Ni metal in Renazzo-like carbonaceous chondrites // Geochim. Cosmochim. 2001. Acta. Vol. 65. P. 4567–4588.

Grossman J.N. and Wasson J.T. The origin and history of the metal and sulfide components of chondrules // Geochim. Cosmochim. 1985. Acta. Vol. 49. P. 925–939.

Lauretta D. S., Nagahara H., Alexander C. M. O'D. Petrology and Origin of Ferromagnesian Silicate Chondrules // Meteorites and the Early Solar System II. 2005. P. 431–459.

McDonald I., Russell S.S. Platinum-group elements in enstatite chondrites and enstatite achondrites // 64th Annual Meteoritical Society Meeting (2001). P. 5165.

Wasson J.T., Kallemeyen B.W. Composition of chondrites // Phil. Trans. R. Soc. Lond. 1988. P. 535–544.

## Native Platinum in the Ordinary Chondrite

N.Y. Nikulova, V.N. Filippov, A.S. Shuyskiy, B.A. Makeev

Institute of geology of FRC Komi Scientific Centre of Ural Branch of Russian Academy of Sciences. 54 Pervomayskaya Str., 167982 Syktyvkar, Russia. E-mail: Nikulova@geo.komisc.ru

The article presents the first results of the study of native platinum extracted from chondrite. The native platinum forms microinclusions in carbonaceous matter and chromites, which are found in ordinary chondrite. Native plat-

inum forms micrograins and aggregates of cubic microcrystals, most of which are free from impurities. The composition of platinum-containing chromites corresponds to terrestrial analogues of ultrabasic mantle rocks. Assumption about the magmatic origin of platinum-containing carbon is made.

Keywords: *platinum; carbonaceous substance; chromite.*

## Reference

- Vinogradov A.P., Lavrukhina A.K., Ganiev A.T. et al. 1972. Raspredelenie platinoidov i zolota mezhdru raznymi fazami meteoritnogo veshchestva [Distribution of platinoids and gold between different phases of meteorite substance]. Soobshchenie 1. Geokhimiya. 12:1461–1468. (in Russian)
- Galimov E.M., Kolotov V.P., Nazarov M.A., Kostitsyn Y.A., Kubrakova I.V., Kononkova N.N., Roshchina I.A., Alekseev V.A., Kashkarov L.L., Badjukov D.D., Sevastianov V.S. 2013. Rezultaty veshchestvennogo analiza meteorita Chelyabinsk [Results of physical analysis of the Chelyabinsk meteorite]. Geokhimiya. 7:580–598. (in Russian)
- Erokhin Yu.V., Koroteev V.A., Khiller V.V., Burlakov E.V., Ivanov K.S., Kleimenov D.A. 2015. Meteorit Kunashak: novye dannye o mineralogii [The Kunashak Meteorite: new data on mineralogy]. Doklady nauk o zemle. 464(2):1058–1061. (in Russian)
- Erokhin Y.V., Koroteev V.A., Khiller V.V., Ivanov K.S., Burlakov E.V., Kleimenov D.A. 2016. Meteorit Ozernoe: novye dannye po mineralogii [Ozernoe Meteorite: new data on the mineralogy]. DAN. 471(2):1273–1276. (in Russian)
- Erokhin Y.V., Koroteev V.A., Khiller V.V., Ivanov K.S., Burlakov E.V., Kleimenov D.A. 2017. Meteorit Kargapol: novye dannye po mineralogii [The Kargapole meteorite: new data on mineralogy]. DAN. 477(2):1441–1444. (in Russian)
- Koroteev V.A., Erokhin Y.V., Khiller V.V., Burlakov E.V., Ivanov K.S., Kleimenov D.A. 2014. Meteorit Ural: novye dannye po mineralogii [The meteorite Ural: new mineralogical data]. DAN. 459(1):1371–1374. (in Russian)
- Litasov K.D., Ishikawa A., Bazhan I.S., Ponomarev D.S., Hirata T., Podgornykh N.M., Pokhilenko N.P. 2018. Microelementnyy sostav i klassifikatsionnye priznaki meteorita Chinge [Trace element composition and classification features of the Chinge meteorite]. DAN. 478(1):81–85. (in Russian)
- Pavlov N.V. 1949. Khimicheskiy sostav khromshpinelidov v svyazi s petrograficheskim sostavom porod ultrasnovnykh intruzivov [Chemical composition of chrome spinel in connection with the petrographic composition of ultrabasic intrusions]. Nauka, Moskva, p. 88. (in Russian)
- Salikhov D.N., Yusupov S.S., Kovalev S.G., Berdnikov P.G., Khamitov R.A. 2001. Poleznye iskopaemye respubliky Baschkortostan (metally platinovoy gruppy) [Minerals of the Republic of Bashkortostan (platinum group metals)]. Ekologiya. Ufa, p. 223. (in Russian)
- Silaev V.I., Golubeva I.I., Filippov V.N., Lutoev V.P., Simakova Yu.S., Potapov S.S., Petrovsky V.A., Khazov A.F. 2013. Meteorit Chelyabinsk: mineralogo-petrograficheskaya kharakteristika [Meteorite «Chelyabinsk»: Mineralogical and Petrographic Characteristics]. Vestnik Permskogo universiteta. Geologia. 2(19):8–27. (in Russian)
- Sobotovich E.V., Semenenko V.P. 1985. Proiskhozhdenie meteoritov [Origin of meteorites]. Nauk. Dumka, Kiev, p. 204. (in Russian)
- Yudin I.A., Kolomenskiy V.D. 1987. Mineralogiya meteoritov [Mineralogy of meteorites]. UNC AN SSSR, Sverdlovsk, p. 200. (in Russian)
- Alexander C.M.O'D. 1995. Trace element contents of chondrulers and interchondrule matrix in ordinary chondrites. Geochim. Cosmochim. Acta. 59:3247–3266.
- Brearley A.J., Jones R.H. 1998. Chondritic meteorites. In Planetary Materials. Washington: Mineralogical Society of America, pp. 35–38.
- Cohen B.A., Hewins R.H. 2004. An experimental study of the formation of metallic iron in chondrules. Geochim. Cosmochim. Acta. 68:1677–1689.
- Connolly H.C., Huss G.R., Wasserburg G.J. 2001. On the formation of Fe-Ni metal in Renazzo-like carbonaceous chondrites. Geochim. Cosmochim. Acta. 65:4567–4588.
- Grossman J.N., Wasson J.T. 1985. The origin and history of the metal and sulfide components of chondrules. Geochim. Cosmochim. Acta, 49:925–939.
- Lauretta D.S., Nagahara H., Alexander C.M.O'D. 2005. Petrology and Origin of Ferromagnesian Silicate Chondrules. Meteorites and the Early Solar System II, p. 431–459.
- McDonald I., Russell S.S. Platinum-group elements in enstatite chondrites and enstatite achondrites. In: 64th Annual Meteoritical Society Meeting (2001). P. 5165.
- Wasson J.T., Kallemeyen B.W. 1988. Composition of chondrites. Phil. Trans. R. Soc. Lond., pp. 535–544.