

Алмазы «полуночных земель» России

Diamonds of Russia's «midnight lands»

Каржавин В. К.

Углерод и углеродсодержащие соединения установлены на всей территории Кольского полуострова. На основе петролого-геохимического исследования метаморфизма основных и ультраосновных пород сделано предположение о наличии алмазных проявлений в северо-западных районах Кольского полуострова.

Ключевые слова: углерод, органические соединения, трубки взрыва, алмаз, карбонаты, кимберлиты, метаморфические породы.

Karzhavin V. K.

Carbon and carbon-rich organics were identified throughout the Kola peninsula. Based on petrological and geochemical study of basic and ultrabasic rock metamorphism, diamond occurrences are assumed in the north-western Kola peninsula.

Keywords: carbon, organics, explosion pipes, diamond, carbonates, kimberlites, metamorphic rocks.

Для цитирования: © Каржавин В. К. Алмазы «полуночных земель» России. Руды и металлы. 2021. № 3. с. 76–81. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10019.

For citation: © Karzhavin V. K. Diamonds of Russia's «midnight lands». Ores and metals, 2021, № 3, pp. 76–81. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10019.

Кианитовые сланцы свиты кейв уникальны в геологическом, геохимическом и минералогическом аспектах [2], что определяется углеродом и основными минералами в их составе. Кейвы – это возвышенность в центральной части Кольского полуострова, протянувшаяся сплошной полосой на 200 км с запада на восток. Разнообразие руд одноимённой свиты, связанных с многообразием форм выделения кианита и граната (альмандин) свидетельствует о том, что они содержат минералы, чутко реагирующие на изменения геологических условий их образования. Глубокий региональный метаморфизм, при котором сформировались кианитовые сланцы Кейв, протекал в присутствии углеродсодержащих соединений. В кианит-силлиманитовых сланцах свиты кейв наряду с оксидами углерода и углеводородными газами парафинового ряда методом ДТА установлено одновременное присутствие двух различных модификаций углерода – аморфной и кристаллической. Тёмный цвет кианитовых сланцев связан именно с присутствием в них тонкодисперсного углеродистого вещества (графитоида). Его содержание достигает 3,43 % [6]. Наиболее обогащены им конкреционные образования кианитового сланца. На рис. 1 представлен двухцветный образец кианита, который был использован для проведения экспериментального исследования.

В связи со сложной процедурой разложения минералов группы Al_2SiO_5 были предприняты два варианта кислотного вскрытия обоих (светлого и тёмного) образцов кианита после их измельчения. Первый – спеканием при 600 °С с содой и смесью кислот (плавиковой и серной в соотношении 1 : 1). После тщательной промывки образовавшихся осадков были получены несколько образцов, а высушенные остатки были подвержены мощному рентгеновскому облучению (рентгеновский комплекс Precision RXi). Были проведены исследования фракций образцов рентгеном различной мощности. Наличие люминесценции (слабого свечения) прослеживается после облучения только тёмного кианита. По нашему мнению, полученный результат показывает присутствие в тёмном кианите наноразмерных алмазов (рис. 2).



Рис. 1. Образец двухцветного кианита свиты кейв

Fig. 1. Dichromatic kyanite sample of the Cave Formation

На фотографиях представлены результаты кристаллооптического исследования образцов, у которых были зафиксированы слабые следы флюоресценции на рентгеновских плёнках. Концентрация тёмных (графитизированных) округлых частиц незначительная с величиной показателя преломления $n \gg 1,90$ (для природного алмаза $n \approx 2,41$), что значительно выше, чем значение данного параметра у кианитов. Это позволяет нам считать их наноалмазами в так называемых графитовых рубашках, с существованием которых у алмаза в настоящее время многие авторы согласны [9].

Графитовая оболочка образуется за счёт графитизации на регрессивном этапе метаморфизма. Это медленный процесс, который сопровождает выделение энергии величиной в 2,18 кДж/моль. Именно это явление отмечают многие исследователи алмазов различных месторождений, в которых встречаются кристаллы в «графитовых рубашках». В процессе медленного падения общего давления на определённых этапах метаморфизма в сложной природной системе происходит преобразование алмаза в графит. Проведённые нами эксперименты позволили оценить возможность присутствия в кианите наряду с углеродом и алмаза.

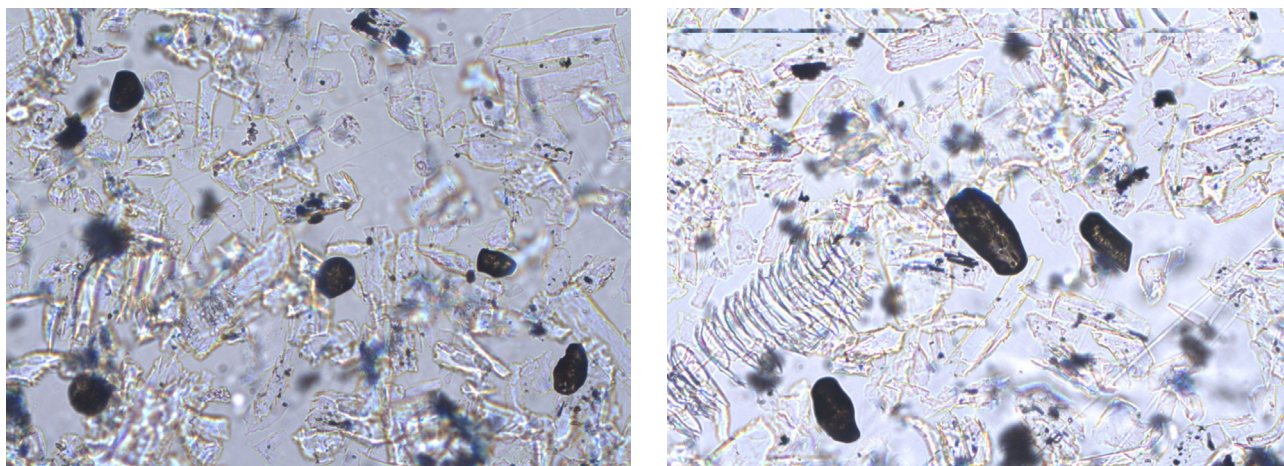


Рис. 2. Результаты кристаллооптического исследования образцов, у которых были зафиксированы слабые следы флюоресценции на рентгеновских плёнках

Fig. 2. Results of crystal-optical examination of samples with minor fluorescence traces on X-ray films

Для подтверждения полученных экспериментальных данных необходимо провести теоретические физико-химические исследования. На рис. 3 представлено совмещение P - T диаграммы Al_2SiO_5 с P - T диаграммой фазового равновесия алмаз – углерод. Такое совмещение качественно указывает на интересные выводы для исследуемого природного объекта.

Из рисунка видно, что в системе кианит – силлиманит – андалузит области существования метастабильного алмаза, графита и алмаза с метастабильным графитом фазовой диаграммы алмаз – графит имеют аналогичные термодинамические параметры. Это означает, что в P - T области существования кианита и метастабильного алмаза с графитом не исключена возможность кристаллизации и совместного существования обеих полиморфных модификаций углерода. Отсюда следует, что их совместная кристаллизация в алюмосиликатной системе свидетельствует об относительно низкотемпературных условиях их образования (при температуре ниже $1000\text{ }^\circ\text{C}$).

В связи с этим было проведено физико-химическое моделирование с использованием расчётных систем (векторов) с P - T параметрами. Для теоретических расчётов основными компонентами алюмосиликатной системы в

составе твёрдой фазы приняты кианит, силлиманит, андалузит, а также гранат (альмандин, пироп) с углеродом и ряд газообразных соединений системы $C - H - O$. Теоретическое исследование было проведено в широких интервалах температуры и давления [8]. В зависимости от P - T параметров исследуемой системы и концентрации углерода удалось установить некоторые характерные особенности и прийти к следующему выводу.

Из полученного расчётного материала следует, что в P - T области существования кианита в системе кианит – силлиманит – андалузит и области метастабильного алмаза с графитом кристаллизация и совместное существование обеих полиморфных модификаций углерода возможна при температуре ниже $1000\text{ }^\circ\text{C}$. При этом основные минералы в составе твёрдой фазы исследуемых систем – кианит и гранат.

Присутствие углеродсодержащих соединений установлено для всей территории Кольского полуострова многими исследователями [7, 11]. В метаморфических комплексах северо-западной части Кольского полуострова известно более ста проявлений высокоуглеродистых пород и карбонатов с содержанием углерода от 5 до 90 % [1]. В районе северного контакта Лапландского гранулитового пояса установлены

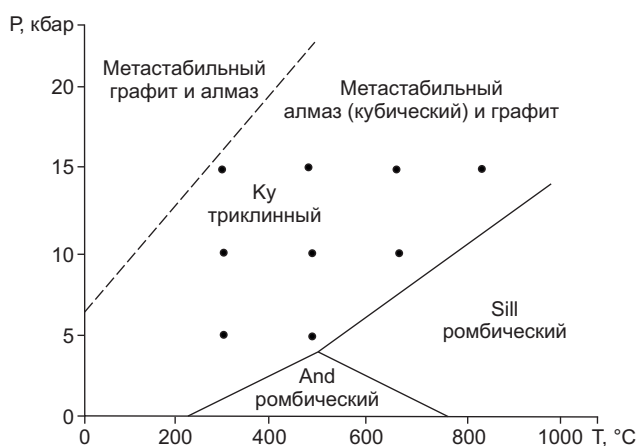


Рис. 3. Совмещенная P - T диаграмма Al_2SiO_5 с фазовой P - T диаграммой состояния углерода:

точки – расчётные систем (векторов) с P - T параметрами; Ку – кианит; Sill – силлиманит; And – андалузит

Fig. 3. P - T diagram of Al_2SiO_5 combined with phase P - T diagram of the state of carbon:

points – design systems (vectors) with P - T parameters; Ку – kyanite; Sill – sillimanite; And – andalusite

высокоуглеродистые породы, что не исключает присутствия в них алмазов.

Возможность открытия алмазов в «полуночных землях» России предсказал ещё основоположник русской горной науки, минералогии и химии М. В. Ломоносов в книге «О слоях земных»: «... в Севере... не можем сомневаться, что могли произойти алмазы... и могут отыскаться» (1763 г.), как предвидел и то, что Россия будет прирастать Сибирью и Севером, в том числе и за счёт алмазов.

Действительно, алмазы на Кольском полуострове впервые были обнаружены Ш. Веленом в конце 1891 г. в форме мелких кристалликов (0,25–1,25 мм) среди образцов песка, привезённых французским географом Шаленом Рабо (1885 г.) с реки Паз Печенгского района на границе с Норвегией [12]. Однако последующие детальные поиски алмазов в этом районе Кольского полуострова не дали положительных результатов.

В 80-х гг. в соседней с Мурманской областью, Архангельской, был открыт ряд алмазонасных трубок взрыва. А в 1986 г. на Терском берегу Белого моря (Кольский полуостров) также были найдены две алмазонасные кимберлитовые трубки [13]. В одной из них (Ермаковская-7) в отобранных двух технологических пробах был обнаружен 131 алмаз, в основном размером 0,1–0,2 мм. Данные кимберлитовые трубки имеют серпентин-карбонатный (магнезит, кальцит) состав. Также проведёнными исследованиями песчано-гравийных прибрежных осадков вдоль Терского берега Кольского полуострова были найдены два кристаллика алмаза размером до 0,5 мм [5].

Кольской полуостров является северо-восточной окраиной Балтийского щита – одного из крупнейших докембрийских образований в Евразии. Геологические процессы, происходящие в настоящее время, объясняют глубинную природу скоплений углеводородов, свободно выделяющихся по трещинам и порам пород ряда массивов полуострова [3].

Печенгская вулканогенно-осадочная тектоническая структура расположена на северо-западе Кольского полуострова. Она представляет собой синклиорий, осложнённый тектоническими разломами и надвигами, сложена раннепротерозойскими вулканогенно-осадочными породами, залегающими на архейском фундаменте [10]. Здесь преобладают сульфидные медно-никелевые руды Печенгского рудного поля первичного магматического происхождения, которые были подвергнуты метаморфизму и гидротермальному воздействию в восстановительных условиях. Углеродистое вещество в незначительных количествах присутствует в осадочных породах в виде пыли или мелких чешуек размером от 0,01 до 0,03 мм. В песчаниках установлены карбонаты, которыми сложены известковые сланцы, известняки, доломиты и мраморы, причём кальцит преобладает над доломитом.

Метаморфизм Печенгской структуры – кианит-силлиманитового типа. Прогрессивный региональный метаморфизм осадочно-вулканогенных толщ раннего протерозоя, слагающих Печенгскую структурную зону, развивал-

ся от пренит-пумпеллиитовой фации до низких и средних ступеней амфиболитовой в широком диапазоне термодинамических условий (T от 270 до 428 °С, P от 120 до 350 мПа) [4]. Печенгская структурная зона вмещает промышленные месторождения медно-никелевых руд и разнообразные непромышленные проявления других типов рудной минерализации, даже графитовой [1]. Это позволяет считать се-

веро-западные районы Кольского полуострова перспективными для поисковых работ.

На основании изложенного теоретического и экспериментального материала можно считать возможным синтез алмаза в природных условиях, отличающихся от высокобарических, а также связь алмазоносности с наличием газов, рудной минерализации и самородных металлов.

Список литературы

1. Астафьев Б. Ю., Лохов К. И., Воинова О. А., Антонов А. В., Прасолов Э. М., Матуков Д. И. Возраст, масштаб и генезис постметаморфической графитовой минерализации докембрия Кольского полуострова (Лапландский гранулитовый пояс и его обрамление) // *Метаморфизм, космические, экспериментальные и общие проблемы петрологии. Материалы Международного X всероссийского петрографического совещания «Петрография XXI века»*. – 2005. – Т. 4. – С. 26–28.
2. Бельков И. В. Кианитовые сланцы свиты Кейв (геологическое строение, кристаллические сланцы и кианитовые руды). – М. – Л. [СПб.] : АН СССР, 1963. – 321 с.
3. Введенская А. Я., Дертев А. К. Современная геодинамика, битуминозность и газоносность Кольского полуострова // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. – 2007. – № 2. – С. 1–7.
4. Волошина З. М., Каржавин В. К. Термодинамические условия и флюидный режим регионально метаморфизованных осадочно-вулканогенных толщ Печенгской структурной зоны // *Отечественная геология*. – 2006. – № 3. – С. 53–57.
5. Гавриленко Б. В., Корсакова О. П., Зозуля Д. Р. О возможности формирования россыпей алмазов на юго-востоке Кольского полуострова // *Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова*. Т. 2. Полезные ископаемые, минералогия, петрология, геофизика. – Апатиты : Полиграф, 2002. – С. 13–22.
6. Гинсбург И. В., Горшков А. И. О графите кианитовых сланцев Кейв (Кольский полуостров) // Труды Минералогического музея им. А. Е. Ферсмана. – 1961. – Вып. 12. – С. 171–176.
7. Дудкин О. Б., Минаков Ф. В., Кравченко М. П., Кравченко Э. В., Кулаков А. Н., Полежаева Л. И., Припачкин В. А., Пушкарёв Ю. Д., Рюнгенен Г. И. Карбонатиты Хибин. – Апатиты : КФАН, 1984. – 98 с.
8. Каржавин В. К. Бинарная природа происхождения алмазов. – М. : Русайнс, 2019. – 142 с.
9. Колокольцев С. Н., Корсаков А. В., Шацкий В. С. Механизм образования алмазов в графитовых «рубашках» в метаморфических породах сверхвысоких давлений // *Доклады академии наук*. – 2004. – Т. 399, № 2. – С. 232–235.
10. Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины / гл. ред. Е. А. Козловский. – М. : Недра, 1984. – 480 с.
11. Мележик В. А., Басалаев А. А., Предовский А. А. [и др.]. Углеродистые отложения ранних этапов развития Земли (геохимия и обстановки накопления на Балтийском щите). – Л. [СПб.] : Наука, 1988. – 197 с.
12. Мельников М. П. Заметки по розыску алмазов на реке Паз в принонорвежской Лапландии // *Горный журнал*. – 1892. – Т. 1, № 3. – С. 447–465.
13. Поляков И. В., Калинин М. М. Алмазы и минералы спутники в кимберлитах и рыхлых отложениях Терского берега Кольского полуострова // *Записки Всероссийского минералогического общества*. – 1993. – № 1. – С. 96–101.

References

1. Astaf'ev B. Yu., Lokhov K. I., Voinova O. A. Antonov A. V., Prasolov E. M., Matukov D. I. Vozrast, mashtab i genezis postmetamorфической grafitovoi mineralizatsii dokembriya Kol'skogo poluostrova (Laplandkii granulitovyi po yas i ego obramlenie) [Age, scale and genesis of postmetamorphic graphite mi-



- neralization of the Precambrian of the Kola Peninsula (Lapland granulite belt and its framing)], *Metamorfizm, kosmicheskie, eksperimental'nye i obshchie problemy petrologii. Materialy Mezhdunarodnogo Kh vserossiiskogo petrograficheskogo soveshchaniya "Petrografiya XXI veka"* [Metamorphism, cosmic, experimental and general problems of petrology. Materials of the International X All-Russian Petrographic Conference "Petrography of the XXI century"], 2005, V. 4, pp. 26–28. (In Russ.).
2. Bel'kov I. V. Kianitovye slantsy svity Keiv (geologicheskoe stroenie, kristallicheskie slantsy i kianitovye rudy) [Kyanite shales of the Keiv Formation (geological structure, crystalline shales and kyanite ores)], Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1963, 321 p.
 3. Vvedenskaya A. Ya., Dertev A. K. Sovremennaya geodinamika, bituminoznost' i gazonosnost' Kol'skogo poluostrova [Modern geodynamics, bituminous content and gas content of the Kola Peninsula], *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika [Petroleum Geology – Theoretical and Applied Studies]*, 2007, No 2, pp. 1–7. (In Russ.).
 4. Voloshina Z. M., Karzhavin V. K. Termodinamicheskie usloviya i flyuidnyi rezhim regional'no metamorfizovannykh osadochno-vulkanogennykh tolshch Pechengskoi strukturnoi zony [Thermodynamic conditions and fluid regime of regionally metamorphosed sedimentary-volcanogenic strata of the Pechenga structural zone], *Otechestvennaya geologiya [National Geology]*, 2006, No 3, pp. 53–57. (In Russ.).
 5. Gavrilenko B. V., Korsakova O. P., Zozulya D. R. O vozmozhnosti formirovaniya rossypeialmazov na yugovostoke Kol'skogo poluostrova [On the possibility of the formation of diamond placers in the southeast of the Kola Peninsula], *Geologiya i poleznye iskopaemye Kol'skogo poluostrova. T. 2. Poleznye iskopaemye, mineralogiya, petrologiya, geofizika [Geology and useful minerals of the Kola Peninsula. V. 2. Minerals, mineralogy, petrology, geophysics]*, Apatity, Poligraf Publ., 2002, pp. 13–22.
 6. Ginsburg I. V., Gorshkov A. I. O grafite kianitovykh slantsev Keiv (Kol'skii poluostrov) [About graphite of kyanite shale Cave (Kola Peninsula)], *Trudy Mineralogicheskogo muzeya im. A. E. Fersmana [Proceedings of the Mineralogical Museum A. E. Fersman]*, 1961, V. 12, pp. 171–176. (In Russ.).
 7. Dudkin O. B., Minakov F. V., Kravchenko M. P., Kravchenko E. V., Kulakov A. N., Polezhaeva L. I., Pripachkin V. A., Pushkarev Yu. D., Ryungenen G. I. Karbonatity Khibin [Khibiny carbonatites], Apatity, KFAN Publ., 1984, 98 p.
 8. Karzhavin V. K. Binarnaya priroda proiskhozhdeniyaalmazov [The binary nature of the origin of diamonds], Moscow, Rusains Publ., 2019, 142 p.
 9. Kolokol'tsev S. N., Korsakov A. V., Shatskii V. S. Mekhanizm obrazovaniyaalmazov v grafitovykh "rubashkakh" v metamorficheskikh porodakh sverkhvysokikh davlenii [The mechanism of diamond formation in graphite "jackets" in ultrahigh-pressure metamorphic rocks], *Doklady akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]*, 2004, V. 399, No 2, pp. 232–235. (In Russ.).
 10. Kol'skaya sverkhglubokaya. Issledovanie glubinno-gastroeniya kontinental'noi kory s pomoshch'yu bureniya Kol'skoi sverkhglubokoi skvazhiny [Kola superdeep. Investigation of the deep structure of the continental crust using the drilling of the Kola superdeep well], Moscow, Nedra Publ., 1984, 480 p.
 11. Melezhik V. A., Basalaev A. A., Predovskii A. A. [et al.] Uglerodistye otlozhena rannikh etapov razvitiya Zemli (geokhimiya i obstanovki nakopleniyana Baltiiskom shchite) [Carbonaceous deposits of the early stages of the Earth's development (geochemistry and accumulation conditions on the Baltic Shield)], Leningrad, Nauka Publ., 1988, 197 p.
 12. Mel'nikov M. P. Zametki po rozyskualmazov na reke Paz v prinorvezhskoi Laplandii [Notes on tracing diamonds on the Pasvik river in the Norwegian Lapland], *Gornyi zhurnal [Mining magazine]*, 1892, V. 1, No 3, pp. 447–465. (In Russ.).
 13. Polyakov I. V., Kalinkin M. M. Almazы i mineraly sputniki v kimberlitakh i rykhlykh otlozheniyakh Terskogo berega Kol'skogo poluostrova [Diamonds and minerals satellites in kimberlites and loose sediments of the Tersk coast of the Kola Peninsula], *Zapiski Vserossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva [Notes of the All-Russian Mineralogical Society]*, 1993, No 1, pp. 96–101.

Автор

Каржавин Владимир Константинович

кандидат химических наук, старший научный сотрудник
karzhavin@geoksc.apatity.ru

Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты

Author

Karzhavin Vladimir Konstantinovich

PhD, senior researcher
karzhavin@geoksc.apatity.ru

Geological Institute, Kola research center of RAS, Apatity, Russia