



Гидротермальная минерализация в осадочных породах кембрия как индикатор рудовмещающей структуры кимберлитов Сюльдюкарского поля Якутии

Hydrothermal mineralization hosted by Cambrian sedimentary rocks as evidence of kimberlite-hosting structure, Syuldyukarskoye field, Yakutia

Игнатов П. А., Зарипов Н. Р.,
Толстов А. В., Колесник А. Ю., Мальцев М. В.

Ignatov P. A., Zaripov N. R.,
Tolstov A. V., Kolesnik A. Yu., Maltsev M. V.

На участке кимберлитов в Сюльдюкарском поле Якутии во вмещающих их терригенно-карбонатных породах кембрия приведены результаты картирования признаков сдвигов, прожилкового осветления красноватых пород, метазернистого пирита, пирит-кальцитовых и кальцитовых прожилков. Показана локализация кимберлитов в рудовмещающем сдвиге и узле его пересечения с поперечным разломом. С ним совмещаются ореолы прожилкового осветления, пирит-кальцитовых и кальцитовых прожилков, обладающих красной фотолюминесценцией (ФЛ) и фосфоресценцией. Красная, голубая и частично белая ФЛ обусловлена концентрацией в кальцитах $Mn > 0,1 \%$. По вариациям изотопного состава углерода и кислорода кальциты образовались при участии среднетемпературных формационных и метеорных вод, углерода осадочных карбонатных пород и углеводородов глубинного происхождения. В гидротермальных кальцитах установлены аномальные концентрации Ba, Cr, Ni и La. Полученные данные позволяют прогнозировать новые алмазоносные тела в юго-восточной части ореолов эндогенной минерализации.

Ключевые слова: кимберлиты, сдвиги, прожилки, изотопы углерода и кислорода, люминесценция.

The paper describes diamondiferous kimberlite area within a new Yakutian Syuldyukarskoye field and presents detailed mapping results of ore-hosting shear evidence, veinlet bleaching of redbeds, outcrops of metagrained pyrite, pyrite-calcite and calcite veinlets hosted by Cambrian terrigenous-carbonate rocks where kimberlites occur. Kimberlite localization is shown at fault junction as well as kimberlite long axis combination with west-northwest ore-hosting shear. These tectonic structures combine with veinlet bleaching halos, those of pyrite-calcite and calcite veinlets, and calcite druses characterized by red photoluminescence and phosphorescence. Red, blue and partially white photoluminescence is caused by manganese concentration in calcites ($> 0,1\%$). Hydrothermal calcite nature is supported by C and O isotope composition variations, which reflect the input of medium temperature formational and meteoric waters, carbon of sedimentary carbonate rocks and deep hydrocarbons. Anomalous Ba, Cr, Ni and La content is recognized in hydrothermal calcites from near-kimberlite environment. Kimberlite position in the southeastern part of endogenous mineralization halos and greater diamond potential of the western kimberlite body, which is larger compared to the eastern one, allow forecasting of new productive bodies.

Keywords: kimberlites, shifts, veins, carbon and oxygen isotopes, luminescence.

Для цитирования: Игнатов П. А., Зарипов Н. Р., Толстов А. В., Колесник А. Ю., Мальцев М. В. Гидротермальная минерализация в осадочных породах кембрия как индикатор рудовмещающей структуры кимберлитов Сюльдюкарского поля Якутии. Руды и металлы. 2021. № 1. С. 93–105. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10006.

For citation: Ignatov P. A., Zaripov N. R., Tolstov A. V., Kolesnik A. Yu., Maltsev M. V. Hydrothermal mineralization hosted by Cambrian sedimentary rocks as evidence of kimberlite-hosting structure, Syuldyukarskoye field, Yakutia. Ores and metals, 2021, № 1, pp. 93–105. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10006.

Введение. Алмазоносные кимберлиты в новом Сьюльдюкарском поле Якутии открыты в 2015 г. геологами АК АЛРОСА (ПАО) в прогнозируемом Ыгыаттинском поле [11, 14–16]. Два сближенных кимберлита расположены в бассейне р. Сьюльдюкар и прорывают терригенно-карбонатные породы холомолохской свиты верхнего кембрия, залегающие под толщей верхнепалеозойских и мезозойских отложений (рис. 1). На глубине эти тела, вероятно, соединяются, слагая единый канал поступления глубинной магмы. Западное тело заметно крупнее восточного и содержит больше алмазов. Центральная часть Сьюльдюкарского кимберлитового поля

представляет собой так называемое трапповое окно, на котором отсутствуют перекрывающие карбонатный цоколь туфы, базальты и силлы пермо-триасовой эффузивно-осадочной формации. На большей же части поля траппы занимают верхнюю часть толщи, перекрывающей вмещающие кимберлиты карбонатные отложения нижнего палеозоя, что существенно затрудняет выявление новых кимберлитовых тел [15, 17].

В данном районе ореолы минералов-индикаторов кимберлитов в базальных горизонтах терригенных угленосных отложений каменноугольно-пермского возраста мало информатив-

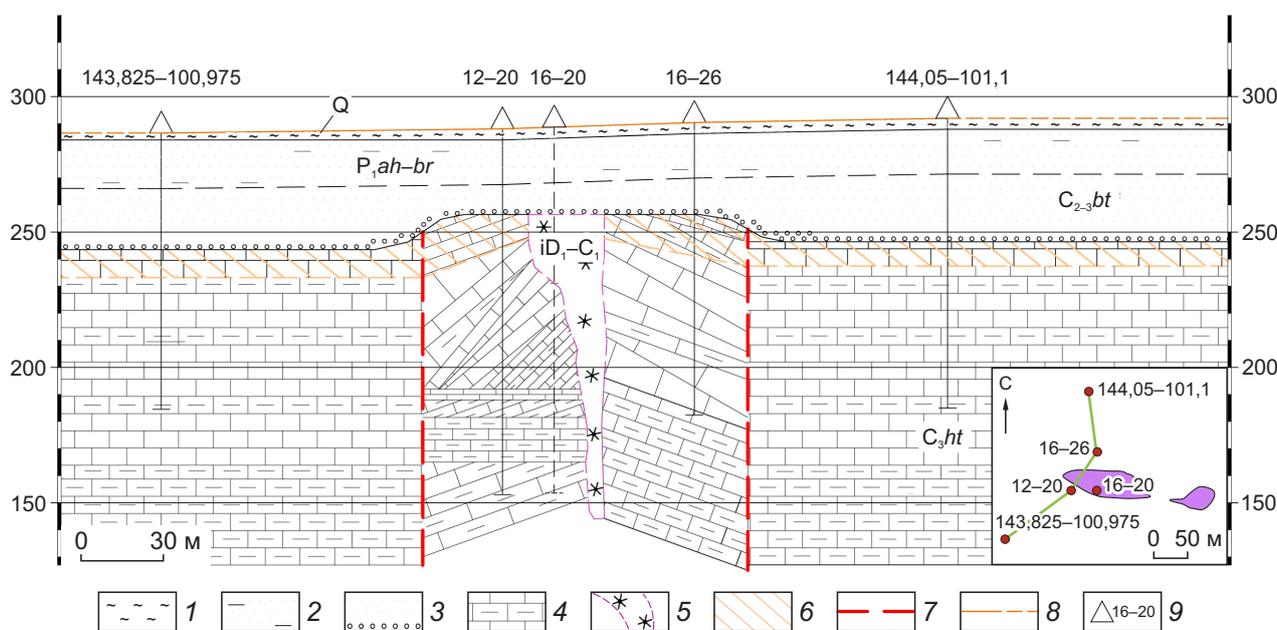


Рис. 1. Геологический разрез на участке Сьюльдюкарских кимберлитов:

1 – четвертичные отложения; терригенные угленосные отложения: 2 – нижнепермские ахтарандинской и боруллойской свит, 3 – каменноугольные ботуобинской свиты; 4 – верхнекембрийские терригенно-карбонатные отложения холомолохской свиты; 5 – кимберлиты; 6 – древняя кора выветривания; 7 – разломы; 8 – рельеф; 9 – устья скважин и их номера. Нарушенное залегание и углы падения пород кембрия установлены по документации керна. На врезке показано положение линии разреза

Fig. 1. Geological section at Syuldyukarsky kimberlite area:

1 – Quaternary deposits; terrigenous carbonaceous deposits: 2 – Lower Permian (Akhtarandinskaya and Borulloiskaya suites), 3 – Carboniferous (Botuobinskaya suite); 4 – Upper Cambrian terrigenous-carbonate deposits of Kholomolokhskaya suite; 5 – kimberlites; 6 – old crust of weathering; 7 – faults; 8 – topography; 9 – wellheads and their numbers. Inconsistent occurrence and Cambrian rock dip angles were defined from core documentation. The inset shows section line position



ны [16]. В Сьюльдюкарском поле распространены многочисленные тектонические нарушения и проявления основного магматизма среднепалеозойского и мезозойского возрастов, формировавшиеся до, во время и после внедрения кимберлитов. Такие сложные геологические условия объясняют тот факт, что вот уже почти пять лет при очевидной перспективности территории поиски новых алмазоносных тел с применением бурения не увенчались успехом.

Существенные ограничения классических геофизических и шлихоминералогических методов поисков коренных алмазных месторождений в условиях закрытых поисковых площадей и относительно мощного перекрытия вмещающих кимберлиты осадочных пород нижнего палеозоя обусловили использование нетрадиционных методов поисков скрытых рудовмещающих структур [5, 7, 9]. Они опробованы и в Сьюльдюкарском кимберлитовом поле [6].

В последнее время авторы получили новые данные по ореолам прожилкового осветления красноцветных пород, метазернистого пирита, пирит-кальцитовых и кальцитовых прожилков, распространённых в породах холомолохской свиты верхнего кембрия на детально изученном участке Сьюльдюкарского поля, в результате чего появилась возможность картировать тектонические признаки и вторичную минерализацию по равномерной, плотной (от 20×20 до 100×250 м) сети наблюдений. Установленные ореолы маркируют структуру, вмещающую кимберлиты. Описание этих ореолов приведено в настоящей статье.

Фактический материал и методы исследований. На анализируемом участке площадью $1,5 \times 1,5$ км по единой специальной методике [5] изучены разрезы холомолохской свиты мощностью от первых десятков до 200 м по 70 поисковым скважинам, пройденным по сети 20×20 м вблизи кимберлитов и от 100 до 250 м на удалении от них. По керну каждой скважины фиксировались признаки разломов и выделения вторичного пирита в виде прожилков и метазернистых вкраплений, пирит-кальцитовые прожилки, прожилки и друзы кальцита. Последние распространены почти повсеместно.

По коллекции кальцитов из 29 проб в лаборатории МГРИ выполнен качественный фотолюминесцентный анализ в затемнённом помещении при помощи прибора ОИ-18 с лампой СВД-120 и фильтром УФС-2. Аналитиками Г. А. Акуловым, Д. Н. Колгановым, И. А. Мишиным, М. В. Стрельниковым визуально фиксировался цвет флюоресценции и фосфоресценции и время последней. По 15 пробам выполнены анализы методом ИСП-АЭС в лаборатории НИГП АК АЛРОСА (ПАО) по методике БГРЭ-МП5мод (III категория точности) на приборе iCAP 6300Duo (Thermo Scientific (США)). В 26 образцах кальцита определён изотопный состав углерода и кислорода в лаборатории ГИН РАН. Анализы выполнены под руководством доктора геол.-минерал. наук Б. Г. Покровского на комплексе корпорации Thermoelectron, включающем масс-спектрометр Delta V Advanced и установку Gas-Bench-II. Подготовку проб осуществляли по большей части высверливая технической бормашиной кальцит в объёмах одной-трёх спичечных головок.

По результатам документации и анализам составлена база данных и проект в геоинформационной системе с использованием комплекса QGIS. Поскольку границы кимберлитов, плоскости тектонических микросмещений и прожилки, как правило, имеют крутое падение, то при картографировании эти признаки прямо проецировались к устью скважин.

Результаты исследований. Детальное картирование признаков сдвигов (микровзбросы, зеркала скольжения с горизонтальными бороздами) показало ореол, распространённый вдоль разлома, проходящего по осям двух сближенных тел кимберлитов (рис. 2).

Этот ореол отражает узел пересечения сдвигов западно-северо-западного и северо-северо-восточного простираний с большим влиянием субширотного разлома взбросо-сдвигового типа, которые действовали во время формирования кимберлитов. Эта проницаемая зона, вероятно, служила каналом поступления глубинной магмы, обогащённой CO_2 и другими газами, и обусловила камуфлетные взрывы.

В Сьюльдюкарском поле в глинисто-мергельных красноцветных породах кембрия ши-

роко распространено прожилковое осветление. Такое же осветление изучено в Накынском кимберлитовом поле, расположенном вместе с Сьюльдюкарским и Мирнинским полями в единой Вилюйско-Мархинской зоне глубинного разлома. Установлено, что вторичное осветление обусловлено поступлением восстановительных по железу газов (углеводородов и, вероятно, водорода) и сопровождается выносом железа [4]. Его распространение отражает формирование газогеохимических ореолов по тектоническим нарушениям. Ореол прожилкового осветления вокруг кимберлитов рассматриваемого поля в поперечнике составляет от первых сотен до 730 м (рис. 3).

Форма ореола в плане изометрическая. Относительно кимберлитов прожилковое освет-

ление более распространено на север. Внутри ореола увеличивается число прожилков с разной ориентацией плоскостей. Это, с одной стороны, отражает центральную часть узла пересечения разломов, где локализованы кимберлиты. С другой стороны, может указывать на разное время проявления тектонических деформаций.

В карбонатных породах кембрия встречаются новообразования пирита в виде сферических и линзовидных агрегатов размерами меньше миллиметра до первых сантиметров. Пирит замещает кальцит и доломит и корродирует примесные алевритовые и песчаные зёрна кварца. Имеют место пиритовые и пирит-кальцитовые прожилки, указывающие на гидротермальное происхождение пирита. На

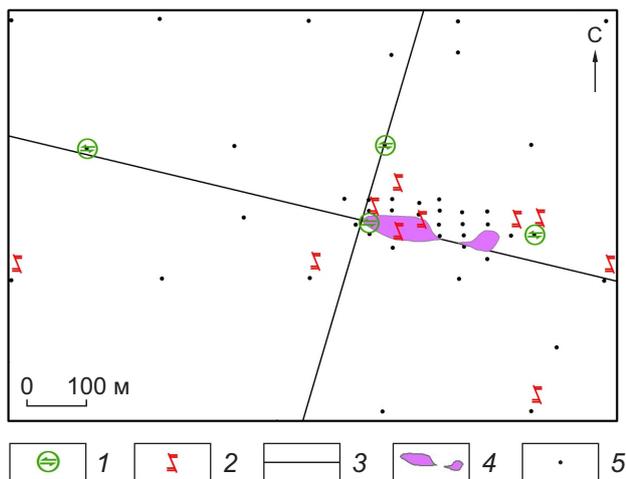


Рис. 2. Распространение признаков сдвигов, маркирующих рудовмещающие разломы на участке Сьюльдюкарских кимберлитов:

1 – зеркала скольжения с горизонтальными бороздами; 2 – микровзбросы; 3 – оси сдвигов; 4 – кимберлит; 5 – скважины

Fig. 2. Distribution of shears marking ore-hosting faults at Syuldyukarsky kimberlite area:

1 – slickensides with horizontal notches; 2 – microup-thrusts; 3 – shear axes; 4 – kimberlite; 5 – drillholes

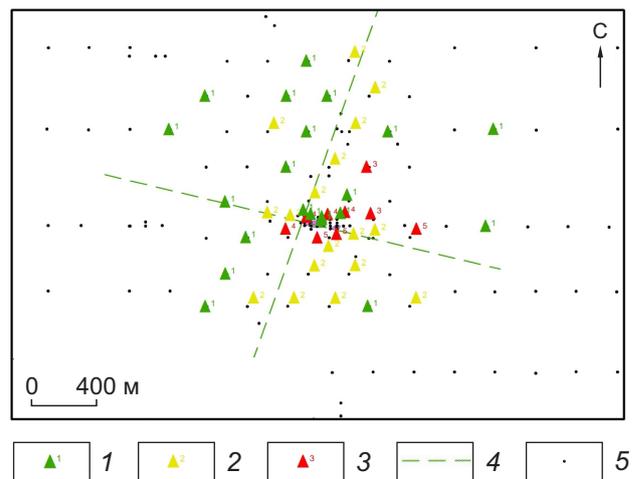


Рис. 3. Распределение скважин, вскрывших прожилки осветления с разной ориентацией в пределах участка Сьюльдюкарских кимберлитов:

прожилки осветления с различно ориентированными плоскостями: 1 – с одной, 2 – двумя, 3 – тремя и более; 4 – кимберлитоконтролирующие сдвиги; 5 – устья скважин

Fig. 3. Distribution of wells that encountered variously oriented bleaching veinlets within Syuldyukarsky kimberlite area:

bleaching veinlets with variously oriented planes: 1 – one, 2 – two, 3 – three or more; 4 – kimberlite-controlling shears; 5 – wellheads

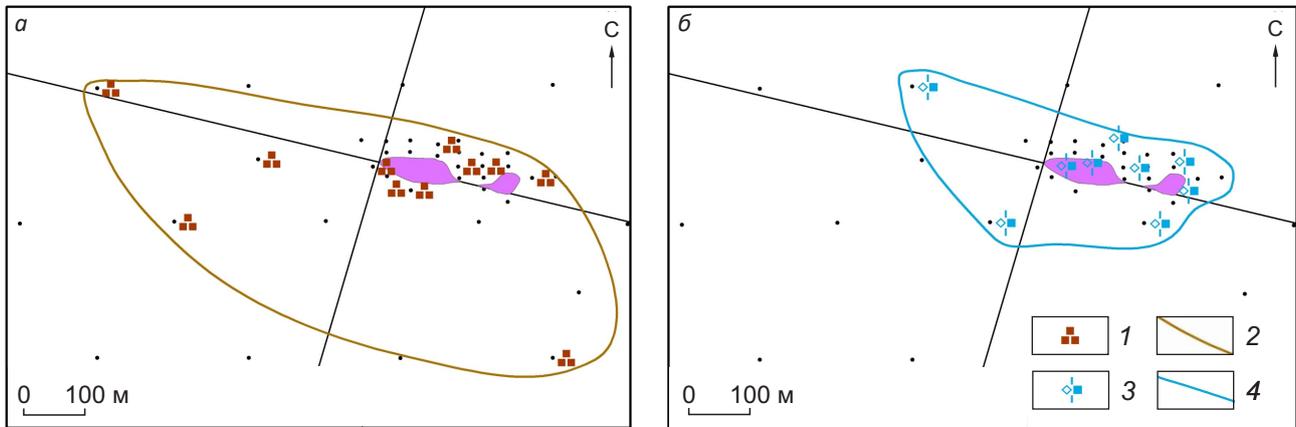


Рис. 4. Ореолы: относительно крупных выделений вторичного пирита в породах кембрия (а), пирит-кальцитовых прожилков на участке Сьюлдыкарских кимберлитов (б):

1 – выделения агрегатов пирита размерами более 2 см; 2 – контур ореола пиритизации; 3 – пирит-кальцитовые прожилки; 4 – контур ореола пирит-кальцитовых прожилков; остальные усл. обозн. см. рис. 2

Fig. 4. Halo relative to extensive secondary pyrite outcrops in Cambrian rocks (a), pyrite-calcite veinlets halo (b) at Syuldyukarsky kimberlite area:

1 – pyrite aggregates (> 2 cm); 2 – contour of pyritization halo; 3 – pyrite-calcite veinlets; 4 – contour of pyrite-calcite veinlet halo; for the rest of the symbols see the fig. 2

участке кимберлитов выявлен ореол относительно крупных (более двух сантиметров) агрегатов пирита (рис. 4, а).

Он имеет линзовидную форму и в большей мере отражает западно-северо-западный сдвиг, совпадающий с длинными осями кимберлитов. Кимберлиты расположены в северо-восточном фланге ореола интенсивной пиритизации, который расширяется на юго-восток. В этой связи надо отметить, что и площадь западного тела кимберлитов заметно больше, чем восточного. Представляется, что интенсивные новообразования пирита маркируют потоки горячего сероводорода, проникавшие по крутопадающим зонам трещин. Сероводород осаждался в местах повышенного содержания Fe в поровых формационных водах терригенно-карбонатных пород кембрия. Часть Fe высвобождалась в процессе осветления красноватых пород кембрия, залегающих стратиграфически ниже известняков и доломитов.

Интересно распространение на участке пирит-кальцитовых прожилков (рис. 4, б).

Они чаще встречаются в экзоконтактах кимберлитов и имеют тренд распространения в западно-северо-западном направлении. Так же, как и метазернистый пирит, пирит-кальцитовые прожилки в большей мере отражают субширотный рудовмещающий сдвиг. Прожилки и друзы кальцитов, обладающие красной флуоресценцией, слагают изометрический ореол, в целом совпадающий с вышеотмеченными новообразованиями (рис. 5). Характерно, что кимберлиты, как и в ореолах пиритизации, расположены в восточном фланге ореола гидротермальных кальцитов с красной флуоресценцией. Сам ореол охватывают один-три поперечных размера кимберлитов. Этот ореол весьма неоднороден и включает прожилки и друзы кальцита, в том числе кальцита из цемента гидротермальных брекчий, которые имеют другие цвета флуоресценции (ФЛ) и фосфоресценции или вовсе не люминесцируют. Это можно продемонстрировать на примере кальцитов из ближайшего к кимберлитам пространства и удалении от них от 100 до 200 м (табл. 1).

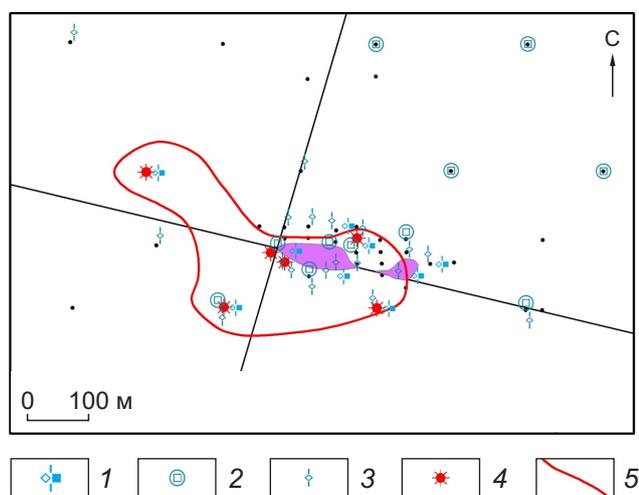


Рис. 5. Распространение кальцитов с красной фотолюминесценцией на участке Сьюльдюкарских кимберлитов:

1 – пирит-кальцитовые прожилки; 2 – друзы кальцита; 3 – прожилки кальцита; 4 – красная фотолюминесценция кальцитов; 5 – контур ореола кальцитов с красной фотолюминесценцией; остальные усл. обозн. см. рис. 2

Fig. 5. Red photoluminescence calcite distribution at Syuldyukarsky kimberlite area:

1 – pyrite-calcite veinlets; 2 – calcite druses; 3 – calcite veinlets; 4 – red calcite photoluminescence; 5 – boundaries of red photoluminescence calcite halo; for the rest of the symbols see the fig. 2

Заметны тенденции в распределении фотолюминесценции кальцитов вблизи кимберлитов, в отличие от удалённых от них проб: вблизи кимберлитов больше флюоресцирующих и фосфоресцирующих кальцитов, причём красная ФЛ преобладает над оранжевой, минимум нелюминесцирующих разностей, есть голубая ФЛ. Напомним, что совмещение в пространстве кальцитов с красной и голубой ФЛ установлено и для участков с алмазонасными кимберлитами Накынского поля [1, 9, 21].

Эта неоднородность выражается не только в разных скважинах, но и в одной скважине из кальцитов, отобранных с разных глубин, и даже кальцитов разных генераций из одного об-

разца. Такое разнообразие отражается и в разном изотопном составе кальцитов с различной люминесценцией (табл. 2).

Не углубляясь в анализ изотопного состава вторичных кальцитов, исходя из контекста данной статьи, надо отметить следующее. По изотопии углерода рассматриваемые кальциты формировались при участии:

- углерода осадочных известняков и доломитов нижнего палеозоя с вариациями $\delta^{13}\text{C}$ от 1,6 до -3,5 ‰;
- глубинного углерода, с $\delta^{13}\text{C}$ от -5,6 до -10,7 ‰, соответствующими углероду карбонатов и большинству алмазов;
- углерода, образованного при окислении метана с пределами от -11,1 до -37,1 ‰ [2, 13, 19, 20, 22].

Следует отметить, что для кальцитов из непосредственной близости от кимберлитов характерна наибольшая вариация изотопного состава углерода, что ранее было установлено для экзоконтактов кимберлитов Сьюльдюкарского поля сотрудниками ИЗК РАН А. С. Гладковым, Л. А. Кошкаревым и др.

По кислороду можно выделить два уровня значений, соответствующих участию низкотемпературных формационных вод осадочной толщи нижнего палеозоя с $\delta^{18}\text{O}$ от 15,5 до 22,5 ‰ и постмагматических средне- и высокотемпературных гидротерм с участием формационных вод в пределах от 11,1 до 15,4 ‰ [3, 13, 18–20, 22].

По соотношению ФЛ и изотопии кислорода и углерода кальцитов не видно каких-то закономерностей (рис. 6). Относительно углерода намечается связь оранжевой ФЛ с резко облегчённым (метановым) углеродом.

Элементный состав кальцитов, в которых диагностирована люминесценция, определён методом ИСП-АЭС в лаборатории НИГП АК АЛРОСА (ПАО). Намечается положительная связь красной фотолюминесценции и содержания MnO, превышающего 0,1 ‰ (табл. 3). Подобные зависимости установлены и для прожилковых кальцитов Накынского поля [8, 10].

В табл. 3 приведены данные по содержаниям Cr, Ni, Ba и La, которые показывают присутствие высоких концентраций в некоторых пробах гидротермальных кальцитов. Концен-



1. Цвет фотолюминесценции (ФЛ) и фосфоресценции (ФФ) вторичных кальцитов из пород хололохской свиты кембрия на участке кимберлитов Сюльдюкарского поля

1. Photoluminescence and phosphorescence color of secondary calcites from Cambrian Kholomolokhskaya suite rocks at kimberlite area, Syuldyukarskoye field

Линия-скважина-глубина, м	Форма выделений кальцита	Цвет ФЛ	Цвет ФФ, время послесвечения
<i>Кальциты из скважин, расположенных вблизи кимберлитов (по сети бурения 20 × 20 м)</i>			
10-22-75	Прожилок	Красный	Нет
10-22-100,5	Цемент карбонатной брекчии	Нет	Нет
12-20-59	Прожилок	Красный	Красный, 0,5 с
16-18-83-а	Жила крупнокристаллического кальцита	Красный, бледно-белый	Красный, меньше 0,5 с, белый
16-18-83-б	Жила крупнокристаллического кальцита	Нет	Нет
16-18-103-а	Друза	Красный, вкрапленники оранжевые	Красный, 1 с
16-18-103-б	Прожилок	Красный	Красный, 0,5 с
16-26-83-а	Прожилок	Местами оранжевый с синими прожилками	Нет
16-26-83-б	Прожилок	Красный	Красный, 0,5 с
16-26-83-в	Прожилок	Оранжевый и красный	Красный и оранжевый, 0,5 с
16-28-109,1-а	Прожилок	Бледно-белые прожилки с голубыми участками	Нет
16-28-109,1-б	Прожилок	Белый	Нет
24-24-89,5	Прожилок	Красный	Красный, 0,5 с
24-24-87	Прожилок	Красный	Красный, 0,5 с
32-24-105,5	Цемент карбонатной брекчии	Белый	Белый, 1 с
40-20-97-а	Друза и прожилок	Синий (вкрапления), красный	Белые прожилки
40-20-97-б	Прожилок кальцита в плоскости микросброса	Красный	Красный, 0,5 с
<i>Кальциты из скважин, расположенных на удалении от кимберлитов от 100 до 800 м</i>			
143,6-101,1-77	Прожилок	Оранжевый, белый, голубой	Нет
143,825-100,475-84	Прожилок	Красный	Красный, 1 с
143,825-100,475-104	Кальцит в микросбросо-взбросе	Редкие оранжевые точки	Нет
143,825-100,975-69	Прожилок	Красный	Красный, 0,5 с
144,05-100,6-57	Прожилок	Оранжево-красный	Красный, 0,5 с
144,05-100,85-96	Прожилок	Красно-оранжевый	Нет
144,265-100,475-86	Прожилок	Красный	Нет
144,265-100,725-94	Прожилок	Белый с оранжевыми точками	Нет
144,265-100,725-60	Прожилок	Белый с оранжевыми точками	Красный, 0,5 с
144,48-100,85-106	Прожилок	Красный	Нет
144,48-101,1-108,7	Прожилок	Нет	Нет
144,48-101,6-111,5	Жила крупнозернистого кальцита	Белый	Нет

2. Изотопный состав С и О вторичных кальцитов из пород холомолохской свиты кембрия около кимберлитов Сюльдюкарского поля

2. C and O isotope composition of secondary calcites from Cambrian Kholomolokhsкая suite rocks near Syuldyukarskoye field kimberlites

Линия-скважина-глубина, м	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ V-PDB	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ V-SMOW	Фотолюминесценция
<i>Кальциты из скважин, расположенных вблизи кимберлитов (по сети бурения 20 × 20 м)</i>			
10-22-75	-2,5	12,7	Красная
10-22-100,5	1,6	16,5	Нет
12-20-59	-3	17,1	Красная
16-18-83а	-2,6	14,2	Красная
16-18-83б	-2,3	14,6	Нет
16-18-103а	0,8	13,0	Красная
16-18-103б	1,0	13,1	Красная
16-26-83а	-37,1	11,1	Оранжевая, синяя
16-26-83б	-24,5	11,9	Оранжевая с синими точками
16-26-83в	-33,9	11,5	Оранжевая, красная
16-28-109,1а	2,1	15,4	Белая, голубая
16-28-109,1б	-8,0	12,8	Белая
24-24-89,5	-3,5	12,7	Белая
24-24-87	-1,6	13,3	Красная
32-24-107,4	-2,2	17,4	Белая
<i>Кальциты из скважин, расположенных на удалении от кимберлитов от 100 до 800 м</i>			
143,6-101,1-77	-30,7	11,6	Оранжевая, белая, голубая
143,825-100,475-84	-7,7	14,2	Красная
143,825-100,475-104	-1,4	17,5	Редкие оранжевые точки
143,825-100,975-69	-5,6	16,1	Красная
144,05-100,6-57	-10,7	15,7	Оранжево-красная
144,265-100,475-86	-1,0	22,5	Красная
144,265-100,725-94	-11,1	14,0	Белая с оранжевыми точками
144,265-100,725-60	-8,0	14,6	Белая с оранжевыми точками
144,48-100,85-106	-0,8	16,5	Красная
144,48-101,1-108,7	-1,4	15,5	Нет
144,48-101,6-111,5	-0,8	16,6	Белая

трации Sr и Ni считаются геохимическими признаками кимберлитов [12]. Повышенные содержания Ba и TR во вторичных кальцитах и экзоконтактах кимберлитов Сюльдюкарского поля выявлены А. С. Гладковым и другими сотрудниками ИЗК РАН.

Выводы. Представленные данные позволяют сделать следующие выводы.

Во-первых, структура, вмещающая кимберлиты Сюльдюкарского поля в терригенно-кар-

бонатных породах кембрия, представлена узлом пересечения сдвигов, выраженным в ансамбле микровзбросов и зеркал скольжения с горизонтальными бороздами. Она занимает площадь, примерно в два раза превышающую кимберлиты. Осевая часть западно-северо-западного магистрального сдвига, которому подчиняются длинные оси кимберлитовых тел, установлена по сети поискового бурения 100 × 250 м и доказана по сети бурения 20 × 20 м.



3. Содержания Mn (%), Cr, Ni, Ba и La (г/т) в гидротермальных кальцитах с разной фотолюминесценцией (ФЛ) из пород хололохской свиты кембрия Сьюльдюкарского поля

3. Mn (%), Cr, Ni, Ba and La (g/t) content in hydrothermal calcites of various photoluminescence from Cambrian Kholomolokhskaaya suite rocks, Syuldyukarskoye field

Линия-скважина-глубина, м	Форма кальцита	ФЛ	MnO	Cr	Ni	Ba	La
10-22-100,5	Прожилок	Нет	0,090	184,24	21,463	35,78	12,215
10-22-75	Цемент карбонатной брекчии	Красная	0,039	10,664	74,831	212,5	5,6313
12-20-59	Прожилок	Красная	0,214	20,413	24,276	76,21	16,872
24-24-89,5	Прожилок	Красная	0,234	15,972	26,366	37,11	22,44
143,4-101,475-96,5	Крупнозернистая жила	Голубая, белая	0,0195	5,4848	2,231	18,96	9,0039
143,6-101,1-77	Прожилок	Голубая, белая	0,0543	22,767	21,96	144,2	16,136
143,825-100,475-84	Прожилок	Голубая, белая	0,1230	13,06	4,5921	42,17	31,683
143,825-100,475-104	Кальцит в микросбросо-взбросе	Нет	0,1392	16,355	11,953	4356	21,153
143,825-100,975-69	Прожилок	Красная	0,1975	18,984	44,764	70,88	16,859
144,05-100,6-57	Прожилок	Оранжевая	0,2192	23,322	17,492	678,38	19,973
144,05-100,85-96	Прожилок	Голубая, белая	0,1954	0,75498	1,2884	11,22	26,793
144,265-100,475-86	Прожилок	Голубая, белая	0,1041	28,049	16,625	62,15	17,128
144,265-100,725-94	Прожилок	Белая и оранжевые точки	0,1114	12,742	6,5459	2890	17,683
144,265-100,725-60	Прожилок	Оранжевая	0,1006	7,3608	2,9419	33,87	14,871
144,48-100,85-100	Прожилок	Нет	0,0500	77,767	38,759	459,52	15,098
144,48-101,1-108,7	Прожилок	Нет	0,2199	22,359	16,787	690,26	19,751
144,48-101,6-111,5	Крупнозернистая жила	Нет	0,0326	9,3666	12,471	521,64	11,021
144,7-101,725-109	Прожилок	Белая	0,0809	23,884	5,952	3782	24,089
144,7-101,725-108,6	Прожилок	Белая	0,0758	39,012	17,827	164,5	17,245

Во-вторых, рудовмещающая структура имеет выражение в сопоставимых по площади ореолах:

- прожилкового осветления красноцветных пород кембрия;
- выделений метазернистого пирита размерами более 2 см;
- пирит-кальцитовых прожилков;
- прожилков и друз кальцита с красной фотолюминесценцией и флюоресценцией.

Образование пирита, по-видимому, происходило за счёт реакций глубинного сероводорода с растворами железа пластово-поровых и пластово-трещинных формационных вод в толще кембрия. Ореол кальцитов с красной ФЛ имеет внутреннее неоднородное строение и включает разности с белой, голубой и оран-

жевой люминесценцией и нелюминесцирующие кальциты. Их эндогенное происхождение подтверждается составом изотопов углерода и кислорода, отражающих средние и высокие температуры минералообразования, участие формационных вод и углекислого газа глубинного, органического и породного генезиса. Кальциты из этого ореола обладают весьма высокой изменчивостью изотопных составов углерода и кислорода. Среди них зачастую устанавливаются аномально высокие концентрации Cr, Ni, Ba, La и других элементов, что характерно для кимберлитов и карбонатитов Якутской алмазональной провинции. Таким образом, ореолы вторичной минерализации в непосредственной близости от кимберлитов Сьюльдюкарского поля следует рассматривать как показате-

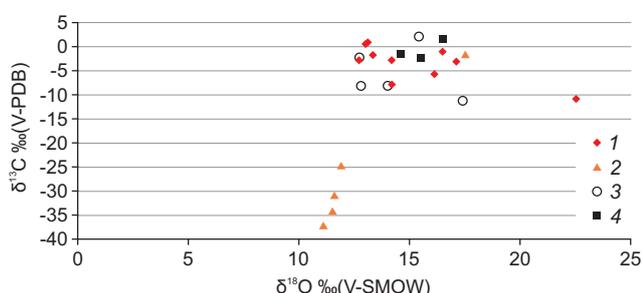


Рис. 6. Соотношение $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ гидротермальных кальцитов из холомолохской свиты с разной фотолюминесценцией на участке кимберлитов Сьюльдюкарского поля:

люминесценция: 1 – красная; 2 – оранжевая; 3 – белая; 4 – отсутствует

Fig. 6. Ratio of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in hydrothermal calcites from Kholomolokhskaia suite of various photoluminescence at Syuldyukarskoye field kimberlite area:

luminescence: 1 – red; 2 – orange; 3 – white; 4 – none

ли очага разгрузки флюидно-магматических и газо-гидротермальных систем.

В-третьих, кимберлиты располагаются на востоке установленных ореолов. Отмеченная асимметрия открывает перспективы обнаружения новых алмазоносных кимберлитовых тел в западно-северо-западном направлении от известных тел.

Список литературы

1. Василенко В. Б., Толстов А. В., Кузнецова Л. Г., Минин В. А. Петрохимические критерии оценки алмазоносности кимберлитовых месторождений Якутии // *Геохимия*. – 2010. – № 4. – С. 366–376.
2. Галимов Э. М. Вариации изотопного состава алмазов и связь их с условиями алмазообразования // *Геохимия*. – 1984. – Т. 8. – С. 109–118.
3. Дзюба А. А. Разгрузка рассолов Сибирской платформ. – Новосибирск : Наука, 1984. – 149 с.
4. Зарипов Н. Р., Игнатов П. А., Васюта Ю. В., Ковальчук О. Е., Лисковская Л. В., Килижеков О. К. Природа процессов осветления красноцветных

пород, вмещающих кимберлиты Накынского алмазоносного поля Якутии // *Руды и металлы*. – 2017. – № 1. – С. 67–74.

5. Игнатов П. А., Новиков К. В. Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя : методическое руководство. – Мирный : АПРОСА, 2019. – 76 с.
6. Игнатов П. А., Колесник А. Ю., Толстов А. В., Мальцев М. В. Геологические признаки рудовмещающих структур Сьюльдюкарского кимберлитового поля Якутии // *Горный журнал*. – 2019. – № 10. – С. 67–71.
7. Игнатов П. А., Кряжев С. Г., Толстов А. В., Мальцев М. В. Признаки скрытых структур в осадочных толщах, вмещающих месторождения алмазов Накынского поля Якутии // *Горный журнал*. – 2018. – № 11. – С. 18–23.
8. Игнатов П. А., Штейн Я. И., Чёрный С. Д., Яныгин Ю. Т. Новые приёмы оценки локальных площадей на коренные месторождения алмазов // *Руды и металлы*. – 2001. – № 5. – С. 32–43.
9. Игнатов П. А., Новиков К. В., Зарипов Н. Р., Ходня М. С., Шмонов А. М., Разумов А. Н., Килижеков О. К., Ковальчук О. Е., Кряжев С. Г. Комплекс нетрадиционных поисковых признаков коренных месторождений алмазов, используемый на закрытых территориях // *Смирновский сборник-2017. Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов*. – М. : МАКС Пресс, 2017. – С. 207–228.
10. Игнатов П. А., Новиков К. В., Шмонов А. М., Зарипов Н. Р., Ходня М. С., Разумов А. Н., Килижеков О. К., Кряжев С. Г., Ковальчук О. Е. Зональность тектонических нарушений и вторичной минерализации в околокимберлитовом пространстве Майского месторождения алмазов Накынского поля Якутии // *Геология рудных месторождений*. – 2018. – Т. 60. – № 3. – С. 1–8.
11. Калмыков Б. А., Пелецкий М. Н. Палеогеографические особенности формирования Хатырыкского ореола кимберлитовых минералов : материалы научно-практической конференции к 30-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК АПРОСА «Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов». – Мирный, 1998. – С. 218–221.
12. Кириллина А. В., Васильева В. И., Симоненко В. И. Геохимические методы поисков кимберлитов на закрытых территориях западной Якутии // *Роль*



- геохимии в развитии МСБ ТПИ. «Прогноз, поиски, оценка и инновационные технологии освоения редкометалльных объектов». – М. : ИМГРЭ, 2016. – С. 44–47.
13. Кулешов В. Н. Изотопный состав и происхождение глубинных карбонатов // Труды ГИН АН СССР. – 1986. – 129 с.
14. Мальцев М. В. Критерии локализации и вещественно-индикационные признаки Сюльдюкарского кимберлитового тела как основа прогнозирования месторождений алмазов в Ыгыаттинском районе (Западная Якутия) : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твёрдых полезных ископаемых, минерагения» : автореферат на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук / Мальцев Михаил Викторович. – Мирный, 2019. – 167 с.
15. Мальцев М. В., Толстов А. В. Новые перспективы коренной алмазности Вилюй-Мархинского междуречья : материалы Всероссийской научно-практической конференции ВППК-2017. – Якутск, 2017. – С. 339–344.
16. Мальцев М. В., Толстов А. В., Фомин В. М., Старкова Т. С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералогических индикаторов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. – 2016. – № 3. – С. 86–94.
17. Симоненко В. И., Толстов А. В., Васильева В. И. Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 108–112.
18. Соболевич Э. В., Бартницкий Е. Н., Цюнь О. В., Кононенко Л. В. Справочник по изотопной геохимии. – М. : Энергоиздат, 1982. – 341 с.
19. Фор Г. Основы изотопной геологии. – М. : Мир, 1989. – 589 с.
20. Хефс Й. Геохимия стабильных изотопов. – М. : Мир, 1983. – 198 с.
21. Шмонов А. М. Геолого-структурные и минералогические признаки, присущие алмазносным кимберлитовым телам дайково-жильного типа (на примере Накынского кимберлитового поля Якутии) : специальность 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореферат на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук / Шмонов Алексей Михайлович. – М. : МГРИ-РГГРУ, 2014. – 121 с.
22. Claude J. Allegre. Isotope Geology. – New York : Cambridge University Press, 2008. 553 p.

References

1. Vasilenko V. B., Tolstov A. V., Kuznetsova L. G., Minin V. A. Petrokhimicheskie kriterii otsenki almazonosnosti kimberlitovykh mestorozhdenii Yakutii [Petrochemical criteria for assessing diamond content of kimberlite deposits in Yakutia], *Geokhimiya [Geochemistry International]*, 2010, No 4, pp. 366–376. (In Russ.).
2. Galimov E. M. Variatsii izotopnogo sostavaalmazov i svyaz' ikh s usloviyamialmazoobrazovaniya [Variations in the isotopic composition of diamonds and their relationship with the conditions of diamond formation], *Geokhimiya [Geochemistry International]*, 1984, V. 8, pp. 109–118. (In Russ.).
3. Dzyuba A. A. Razgruzka rassolov Sibirskoi platformy [Unloading brines of the Siberian platform], Novosibirsk, Nauka Publ., 1984, 149 p.
4. Zaripov N. R., Ignatov P. A., Vasyuta Yu. V., Koval'chuk O. E., Liskovaya L. V., Kilizhekov O. K. Priroda protsessov osvetleniya krasnotsvetnykh porod, vmeshchayushchikh kimberlity Nakynskogo alamazonosnogo polya Yakutii [The nature of the processes of clarification of red-colored rocks containing kimberlites of the Nakyn diamondiferous field in Yakutia], *Rudy i metally [Ores and Metals]*, 2017, No 1, pp. 67–74. (In Russ.).
5. Ignatov P. A., Novikov K. V. Polevaya diagnostika tektonicheskikh narushenii i flyuidorazryvnykh obrazovaniy v kimberlitovmeshchayushchikh otlozheniyakh nizhnego paleozoya: metodicheskoe rukovodstvo [Field diagnostics of tectonic faults and fluid fractures in kimberlite-hosting deposits of the Lower Paleozoic: a methodological guide], Mirnyi, ALROSA Publ., 2019, 76 p.
6. Ignatov P. A., Kolesnik A. Yu., Tolstov A. V., Mal'tsev M. V. Geologicheskie priznaki rudovmeshchayushchikh struktur Syul'dyukarskogo kimberlitovogo polya Yakutii [Geological features of ore-bearing structures of the Syuldyukar kimberlite field in Yakutia], *Gornyi zhurnal [Mining magazine]*, 2019, No 10, pp. 67–71. (In Russ.).

7. Ignatov P. A., Kryazhev S. G., Tolstov A. V., Mal'tsev M. V. Priznaki skrytykh struktur v osadochnykh tolshchakh, vmeshchayushchikh mestorozhdeniya almazov Nakynskogo polya Yakutii [Signs of hidden structures in sedimentary strata containing diamond deposits of the Nakyn field of Yakutia], *Gornyi zhurnal [Mining magazine]*, 2018, No 11, pp. 18–23. (In Russ.).
8. Ignatov P. A., Shtein Ya. I., Chernyi S. D., Yanygin Yu. T. Novye priemy otsenki lokal'nykh ploshchadei na korennyye mestorozhdeniya almazov [New Methods for Estimating Local Areas for Primary Diamond Deposits], *Rudy i metally [Ores and Metals]*, 2001, No 5, pp. 32–43. (In Russ.).
9. Ignatov P. A., Novikov K. V., Zaripov N. R., Khodnya M. S., Shmonov A. M., Razumov A. N., Kilizhekov O. K., Koval'chuk O. E., Kryazhev S. G. Kompleks netraditsionnykh poiskovykh priznakov korennykh mestorozhdenii almazov, ispol'zuemyi na zakrytykh territoriyakh [A complex of unconventional prospecting signs of primary diamond deposits used in closed areas], *Smirnovskii sbornik-2017. Problemy mineragenii, ekonomicheskoi geologii i mineral'nykh resursov [Smirnov collection-2017. Minerageny, economic geology and mineral resources problems]*, Moscow, MAKS Press Publ., 2017, pp. 207–228.
10. Ignatov P. A., Novikov K. V., Shmonov A. M., Zaripov N. R., Khodnya M. S., Razumov A. N., Kilizhekov O. K., Kryazhev S. G., Koval'chuk O. E. Zonal'nost' tektonicheskikh narushenii i vtorichnoi mineralizatsii v okolo kimberlitovom prostranstve Maiskogo mestorozhdeniya almazov Nakynskogo polya Yakutii [Zoning of tectonic faults and secondary mineralization in the near-kimberlite space of the Maisky diamond deposit of the Nakyn field of Yakutia], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii [Geology of Ore Deposits]*, 2018, V. 60, No 3, pp. 1–8. (In Russ.).
- Kalmykov B. A., Peletskii M. N. Paleogeograficheskie osobennosti formirovaniya Khatyrykского oreola kimberlitovykh mineralov: materialy nauchno-prakticheskoi konferentsii k 30-letiyu YaNIGP TsNIGRI AK ALROSA "Geologiya, zakonomernosti razmeshcheniya, metody prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenii almazov" [Paleogeographic features of the formation of the Khatyryk halo of kimberlite minerals: materials of the scientific-practical conference dedicated to the 30th anniversary of the YaNIGP TsNIGRI AK ALROSA "Geology, distribution patterns, methods of forecasting and prospecting for diamond deposits"], *Mirnyi*, 1998, pp. 218–221.
11. Kirillina A. V., Vasil'eva V. I., Simonenko V. I. Geokhimicheskie metody poiskov kimberlitov na zakrytykh territoriyakh zapadnoi Yakutii [Geochemical methods of prospecting for kimberlites in the closed territories of western Yakutia], *Rol' geokhimii v razviti MSB TPI. "Prognoz, poiski, otsenka i innovatsionnye tekhnologii osvoeniya redkometall'nykh ob'ektov" [The role of geochemistry in the development of MSB TPI. "Forecast, prospecting, assessment and innovative technologies for the development of rare metal objects"]*, Moscow, IMGRE Publ., 2016, pp. 44–47. (In Russ.).
12. Kuleshov V. N. Izotopnyi sostav i proiskhozhdenie glubinnykh karbonatov [Isotopic composition and origin of deep carbonates], *Trudy GIN AN SSSR [Proceedings of the GIN AN SSSR]*, 1986, 129 p.
13. Mal'tsev M. V. Kriterii lokalizatsii i veshchestvenno-indikatsionnye priznaki Syul'dyukarskogo kimberlitovogo tela kak osnova prognozirovaniya mestorozhdenii almazov v Ygyattinskom raione (Zapadnaya Yakutiya) [Localization criteria and material-indicative signs of the Syuldyukar kimberlite body as the basis for forecasting diamond deposits in the Ygyattinsky region (Western Yakutia). Extended abstract of candidate's thesis], *Mirnyi*, 2019, 167 p.
14. Mal'tsev M. V., Tolstov A. V. Novye perspektivy korennoi almazonosnosti Vilyui-Markhinskogo mezhdurech'ya: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii VNPK-2017 [New perspectives of the primary diamond content of the Vilyui-Markhinsky interfluvium: materials of the All-Russian scientific-practical conference VNPK-2017], *Yakutsk*, 2017, pp. 339–344.
15. Mal'tsev M. V., Tolstov A. V., Fomin V. M., Starkova T. S. Novoe kimberlitovoe pole v Yakutii i tipomorfnye osobennosti ego mineralov-indikatorov [New kimberlite field in Yakutia and typomorphic features of its indicator minerals], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geologiya [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology]*, 2016, No 3, pp. 86–94. (In Russ.).
16. Simonenko V. I., Tolstov A. V., Vasil'eva V. I. Novyi podkhod k geokhimicheskim poiskam kimberlitov na zakrytykh territoriyakh [A new approach to geochemical prospecting for kimberlites in closed areas], *Razvedka i okhrana nedr [Prospect and protection of mineral resources]*, 2008, No 4–5, pp. 108–112. (In Russ.).
17. Sobotovich E. V., Bartnitskii E. N., Ts'on' O. V., Kononenko L. V. Spravochnik po izotopnoi geokhimii [Iso-



- tope Geochemistry Handbook], Moscow, Energoizdat Publ., 1982, 341 p.
18. For G. Osnovy izotopnoi geologii [Fundamentals of isotope geology], Moscow, Mir Publ., 1989, 589 p.
19. Khefs I. Geokhimiya stabil'nykh izotopov [Geochemistry of stable isotopes], Moscow, Mir Publ., 1983, 198 p.
20. Shmonov A. M. Geologo-strukturnye i mineralogogeochemicheskie priznaki, prisushchie almazonosnym kimberlitovym telam daikovo-zhil'nogo tipa (na primere Nakynskogo kimberlitovogo polya Yakutii) [Geological-structural and mineralogical-geochemical features inherent in diamondiferous kimberlite bodies of dyke-vein type (on the example of the Nakyn kimberlite field of Yakutia). Extended abstract of candidate's thesis], Moscow, MGRI-RGGRU Publ., 2014, 121 p.
21. Claude J. Allegre. Isotope Geology, New York, Cambridge University Press Publ., 2008, 553 p.

Авторы

Игнатов Пётр Алексеевич

доктор геолого-минералогических наук, профессор,
заведующий кафедрой геологии месторождений полезных
ископаемых¹, petrignatov@gmail.com

Зарипов Наиль Ринатович

кандидат геолого-минералогических наук
геолог²
nail750@mail.ru

Толстов Александр Васильевич

доктор геолого-минералогических наук
директор³
TolstovAV@alrosa.ru

Колесник Александр Юрьевич

заведующий лабораторией³
KolesnikAYu@alrosa.ru

Мальцев Михаил Владимирович

кандидат геолого-минералогических наук
заместитель главного геолога по поискам,
начальник геологического отдела⁴
MaltsevMV@alrosa.ru

¹ Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ), г. Москва

² ООО «ГеоСолюшинс», г. Москва

³ Научно-исследовательское геологическое предприятие АК АЛРОСА (ПАО), г. Мирный

⁴ Вилуйская геологоразведочная экспедиция АК АЛРОСА (ПАО), г. Мирный

Authors

Ignatov Petr Alekseevich

PhD, Professor
Head of department of geology of mineral deposits¹
petrignatov@gmail.com

Zaripov Nail Rinatovich

PhD
geologist²
nail750@mail.ru

Tolstov Alexander Vasil'evich

PhD
Director³
TolstovAV@alrosa.ru

Kolesnik Alexander Yur'evich

Head of laboratory³
KolesnikAYu@alrosa.ru

Maltsev Mikhail Vladimirovich

PhD
Deputy chief geologist for prospecting,
Head of geological department⁴
MaltsevMV@alrosa.ru

¹ S. Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting Institute, Moscow, Russia

² LLC Geosolutions, Moscow, Russia

³ JSC ALROSA (PJSC), Mirny, Russia

⁴ Vilyui prospecting team of JSC ALROSA (PJSC), Mirny, Russia