

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ,
МЕТОДИКА ИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

USEFUL MINERALS,
METHODS OF THEIR PROSPECTING AND EXPLORATION

УДК 422.8.063:543:550.34:553.81

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОВ-ИНДИКАТОРОВ
КИМБЕРЛИТА И НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ЫГЫАТТИНСКОГО
АЛМАЗОНОСНОГО РАЙОНА (ЗАПАДНАЯ ЯКУТИЯ)

Т.С. СТАРКОВА¹, М.В. МАЛЬЦЕВ², А.В. ТОЛСТОВ¹

*¹Научно-исследовательское геологическое предприятие АК «АЛРОСА» (ПАО)
16, Чернышевское шоссе, г. Мирный 678175, Республика Саха (Якутия), Россия
e-mail: StarkovaTS@alrosa.ru, TolstovAV@alrosa.ru*

*²Вилуйская ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО)
76, Вилуйская ул., г. Мирный 678175, Республика Саха (Якутия), Россия
e-mail: MaltsevAV@alrosa.ru*

Приведены новые данные по составу индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) — пиропов и пикроильменитов — первого кимберлитового тела Т-54-14, открытого в 2015 г. в Слюдякарском кимберлитовом поле геологами Вилуйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) при заверке аномалии Т-54-14. Выявлено, что среди пиропов кимберлитового тела Т-54-14 преобладают разновидности дерцолитового парагенезиса, доля пиропов алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса не превышает 1,8%. Среди пикроильменитов преобладают низкохромистые разновидности с содержанием магния 5—9 мас. % MgO, отсутствуют низкомагнезиальные высокохромистые разновидности. Проведено сравнение пиропов и пикроильменитов кимберлитового тела Т-54-14 с составами ИМК из близко расположенного высококонтрастного ореола Хатырык (Слюдякарское поле), которое показало, что пиропы ореола отличаются высоким содержанием примеси марганца (в среднем 0,5 мас. % MnO), а среди пикроильменитов установлены низко- и высокомагнезиальные высокохромистые разновидности. Сравнение составов ИМК ореола Восточный (Ыгыаттинское поле) с ИМК кимберлитового тела Т-54-14 также выявило ряд различий: более высокое содержание пиропов верлитового (10%) и алмазоносного дунит-гарцбургитового (7%) парагенезисов, более низкое содержание примеси марганца в пиропе — 0,45 мас. % MnO, наличие среди пикроильменитов низкомагнезиальных, высокохромистых разновидностей. Присутствие различных высококонтрастных ореолов ИМК, существенные их различия в минеральном составе, в том числе выявление пиропов алмазных парагенезисов, прямые находки алмазов и пиропов без следов механического износа в осадочных каменноугольных и пермских отложениях с заведомо низкими коллекторскими свойствами, указывают на высокую перспективность обнаружения промышленно-алмазоносных кимберлитовых тел в Ыгыаттинском районе.

Ключевые слова: кимберлиты; индикаторные минералы кимберлита; Слюдякарское кимберлитовое поле; Ыгыаттинский алмазоносный район.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-35-44

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF INDICATOR MINERALS OF KIMBERLITES
AND NEW PERSPECTIVES DIAMOND OF THE YGYATTA DIAMONDIFEROUS
REGION (WESTERN YAKUTIA)

T.S. STARKOVA, M.V. MALTSEV, A.V. TOLSTOV

ALROSA Public Joint Stock Company (PAO)
6, Lenina ul., Mirny 678174, Republic of Sakha (Yakutia), Russia
e-mail: StarkovaTS@alrosa.ru, MaltsevAV@alrosa.ru, TolstovAV@alrosa.ru

The new data on the composition of kimberlite indicator minerals (KIM) — pyropes and picroilmenites — of the first kimberlite body T-54-14, opened in 2015 in the Syuldyukar kimberlite field by the geologists of ALROSA PJSC, during the verification of the anomaly T-54-14, have been given. The pyropes of the kimberlite body T-54-14 are represented mainly by the differences of the lherzolite paragenesis, the concentration of pyropes of the diamondiferous dunite-harzburgite paragenesis is low and does not exceed 1,8%. Among the picroilmenites the low-chromium varieties prevail, with the content of magnesium 5–9 wt. % MgO, the low-magnesium high-chromium varieties are absent. The comparison data with KIM of Khatyryk (Syuldyukar field) and Vostochny (Ygyatta field) high-contrast halos, allocated within the Ygyatta diamondiferous region, have been provided. The pyropes from the Khatyryk halo are close in composition to the pyropes of the kimberlite body T-54-14, but show a higher concentration of manganese — 0,5 wt.% MnO. The picroilmenites from the Khatyryk halo are distinguished mainly by the presence of high-chromium high- and low-magnesium varieties. KIM from the Vostochny halo also have differences in the composition in comparison with the KIM of the kimberlite body T-54-14. A higher concentration of wehrlite (10%) and diamondiferous dunite-harzburgite (7%) pyropes has been established, pyropes have a lower (0,45 wt.%) concentration of MnO, high-chromium low- magnesium varieties of picroilmenites have been identified. The presence of high-contrast halos of IMK, significant differences in the mineral composition, direct findings the diamonds and pyropes without marks of mechanical wears in the sedimentary Carbon and Permian deposits with low reservoir properties indicate a high prospect for the discovery of a industrial diamonds kimberlites in the Ygyatta region.

Key words: kimberlites; indicator minerals of kimberlite; Syuldyukar kimberlite field; diamondiferous region of Ygyatta.

Ыгыаттинский алмазоносный район расположен в пределах Якутской алмазоносной провинции, в междуречье Вилюй—Марха и приурочен к Вилюйско-Мархинской зоне глубинных разломов (ВМЗ) [2, 3, 5, 13, 14]. На территории района в западной части ВМЗ на сегодняшний день выделяются установленное Слюдюкарское и прогнозируемое Кютерское кимберлитовые поля [10, 11]. В пределах Слюдюкарского поля выявлено первое алмазоносное кимберлитовое тело, условно названное Слюдюкарское. В этом же районе прогнозируются Ыгыаттинское и Утунинское кимберлитовые поля, тяготеющие к её восточной ветви (рис. 1), на территории которых к настоящему времени выявлен ряд высококонтрастных ореолов индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), не имеющих коренного источника [9, 11].

Авторами проведено сравнение составов пиропов и пикроильменитов кимберлитового тела Т-54-14 (Слюдюкарское поле) с пиропами и пикроильменитами близкорасположенного ореола Хатырык с признаками ближнего сноса, выделенного в 1982 г. геологами Ботубинской ГРЭ в Слюдюкарском поле, и ореола Восточный (прогнозируемое Ыгыаттинское поле).

Методы исследований. В работе использован фактический материал, представленный 3224 микронзондовыми анализами пиропов и пикроильменитовиз кимберлитового тела Т-54-14 и ореола Восточный, отобранных из шлиховых проб и изученных авторами в процессе геолого-разведочных работ Ботубинской (затем и Вилюйской) ГРЭ в период с 2015 по 2018 гг. Состав минералов опре-

делён на микронзондовом анализаторе JXA-8230 (Jeol) в НИГП (рентгеноспектральный микроанализ — РСМА), изучение келифитовых кайм на пиропе проведено на микроанализаторе JXA-8800R (Jeol) в режиме сканирующего электронного микроскопа. Также использованы архивные данные из базы данных НИГП по составам ИМК ореола Хатырык (1341 анализ). Вариации содержаний и среднее содержание основных компонентов в изученных пиропе и пикроильменитах представлены в таблице.

Слюдюкарское кимберлитовое поле. При заверке магнитной аномалии Т-54-14 весной 2015 г. поисковым бурением была вскрыта первая алмазоносная кимберлитовая трубка, состоящая из двух сопряженных тел — западного и восточного, различающихся между собой по продуктивности, минералогическим и петрографическим характеристикам. Особенности геологического строения и вещественного состава выявленных кимберлитов изучены и подробно описаны в [10—13]. Авторами более подробно рассмотрены характеристики индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) нового тела в сравнении с минералами из близлежащих ореолов района — Хатырык (Слюдюкарское поле) и Восточный (Ыгыаттинское поле).

Кимберлиты тела Т-54-14, как и содержащиеся в них минералы-индикаторы, по сравнению с кимберлитами Якутской алмазоносной провинции характеризуются практически полным отсутствием составов с экстремально высокими концентрациями петрогенных (TiO_2 , MnO , Al_2O_3) и некоторых индикаторных оксидов (Cr_2O_3) [8, 17]. Например,

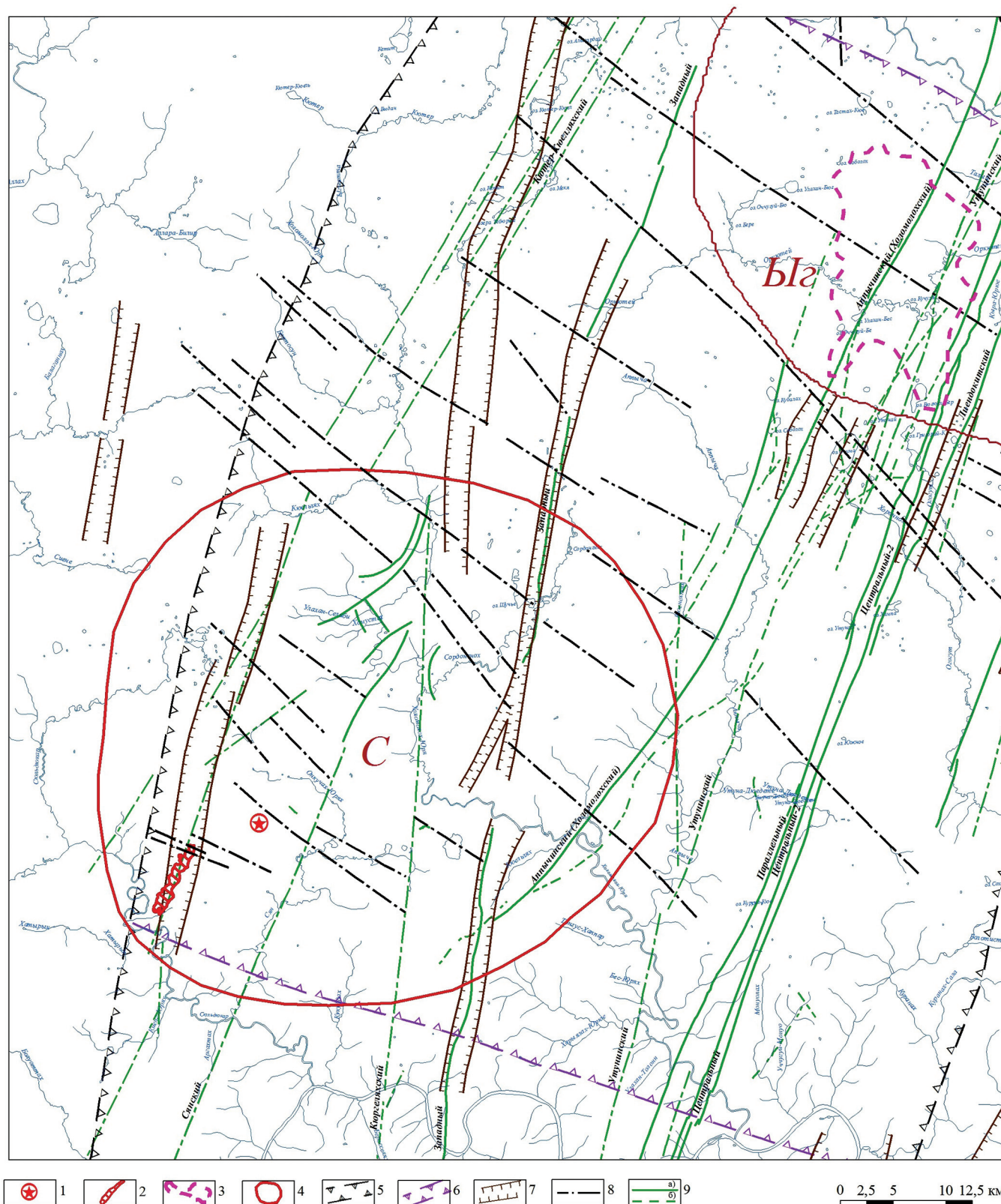


Рис. 1. Схема центральной и юго-западной частей Ыгыатинского алмазоносного района: 1 — алмазоносное кимберлитовое тело «Т-54-14»; 2 — высококонтрастный ореол рассеяния ИМК с признаками ближнего сноса — Хатырский; 3 — ореолы ИМК в разрезе ботубинской свиты карбона — Восточный; 4 — кимберлитовые поля Сюльдюкарское (С) и Ыгыатинское (Ыг); 5 — зоны разломов I порядка (Вилуйско-Мархинская), благоприятные для размещения проявлений кимберлитового магматизма; 6 — зона повышенной проявленности разломов Ыгыатинской рифтогенной зоны (разломы II порядка); 7 — грабенообразные структуры среднепалеозойского возраста, установленные по данным ГИС, сопряжённые с телами даек долеритов Вилуйско-Мархинского комплекса; 8 — разрывные нарушения северо-западного простирания по данным ΔT , связываемые с Ыгыатинской рифтогенной тектонической зоной; 9 — оси линейных аэромагнитных аномалий, связываемые: а — с дайками долеритов высокой интенсивности среднепалеозойского возраста; б — с маломощными дайками долеритов средней и низкой интенсивности среднепалеозойского возраста. Карта составлена с использованием материалов Вилуйской ГРЭ

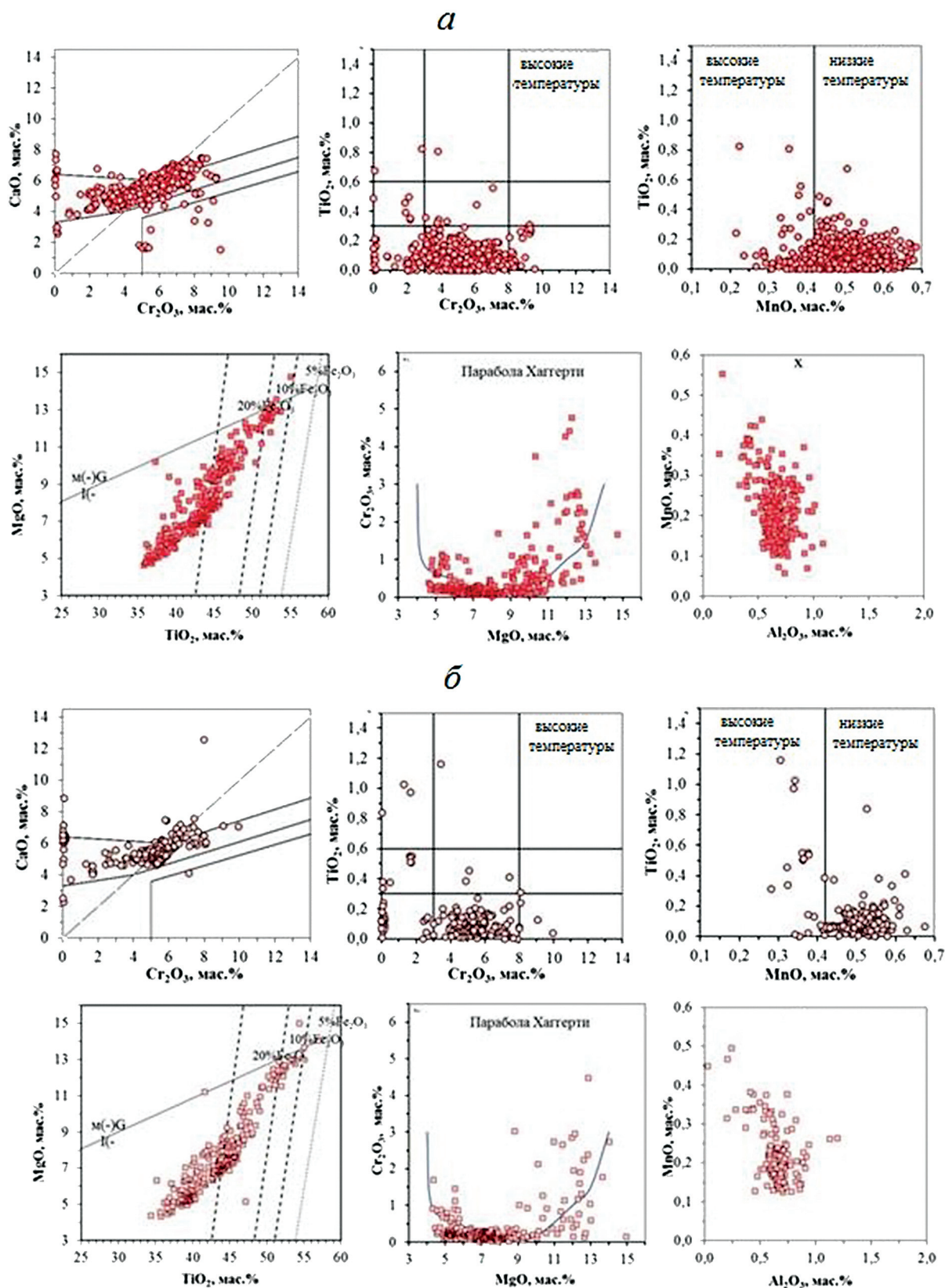


Рис. 2. Бинарные диаграммы составов гранатов (верхний ряд) и пикроильменитов (нижний) кимберлитового тела Т-54-14 (Сюльдюкарское поле) (а – восточное, б – западное). Для гранатов на бинарной диаграмме Cr_2O_3 – CaO линиями выделены парагенезисы [17] сверху вниз: верлитовый, лерцолитовый, дунит-гарцбургитовый, справа внизу – алмазоносный дунит-гарцбургитовый. Для пикроильменитов на бинарной диаграмме TiO_2 – MgO линиями выделены области с различным содержанием Fe_2O_3 .

высококальциевые гранаты верлитового парагенезиса в единичном количестве установлены только в разновидностях кимберлитов западного тела, тогда как высокотитанистые гранаты (с содержанием более 0,6 мас. % TiO_2) присутствуют в обеих выборках в виде единичных зёрен.

Кроме того, в выборках отсутствуют составы гранатов с содержанием более 10 мас. % Cr_2O_3 . Главным отличием, характерным для гранатов кимберлитового тела Т-54-14, является повышенное (среднее 0,51 мас. %) содержание MnO .

В целом ассоциация ИМК, свойственная новому телу, пироп-пикроильменитовая, с преобладанием пикроильменита. Особенностью кимберлитовых гранатов является крайне низкое количество малохромистых разновидностей пироп-альмандинового ряда. В изученных выборках по ИМК из кимберлитов преобладают пиропы лерцолитового парагенезиса (по классификации Н.В. Соболева [17]), доля пиропов алмазного дунит-гарцбургитового парагенезиса составляет всего 1,8% для восточного и 0,5% для западного тел (рис. 2, а). Это согласуется с установленной алмазностью тел.

Для пикроильменитов обоих тел характерно отсутствие высокохромистых низкомagneзиальных разновидностей (ферримангнитных при нормальных условиях), расположенных по левой ветви параболы Хаггерти. По соотношению основных породообразующих оксидов значимых различий в составе пикроильменитов также не выявлено (рис. 2, б). Для них типичны также низкие концентрации MnO

(в среднем $\approx 0,2$ мас. %) при широком диапазоне вариаций Al_2O_3 (0,15—1,0 мас. %, среднее 0,66 мас. %).

Средняя алмазность кимберлитового тела Т-54-14 (по данным обогащения керновых проб) [9] составляет 0,35 карат на тонну (кар./т), при этом алмазность двух сопряжённых тел различается в два раза: 0,51 кар./т — восточное тело, 0,26 кар./т — западное (в отдельных пробах 1,5 кар./т), что свидетельствует о дифференциации исходной кимберлитовой магмы при внедрении тел. В результате специализированных исследований коллекций алмазов тела Т-54-14, проведённых в ходе дополнительных научно-исследовательских работ в НИГП [9], показано отличие алмазов по морфологическим и оптико-спектрально-скопическим характеристикам от алмазов Далдыно-Алакитского, Мало-Ботубинского и Среднемархинского алмазных районов: до 35% кристаллов представлены ламинарными ромбододекаэдрами, октаэдры составляют около 15%, переходные от октаэдра к ромбододекаэдру кристаллические формы составляют $\approx 25\%$, додекаэдровидные и округлые кристаллы — 15%, кристаллы кубического габитуса не превышают 0,2%, преобладают алмазы с концентрацией азота 100—800 ат. ppm и пониженным содержанием примеси водорода.

В совокупности полученные результаты позволяют предполагать в пределах Сюльдюкарского поля более высокие концентрации алмазов в новых прогнозируемых кимберлитовых телах [1, 4, 7, 18], в сравнении с недавно открытым кимберлитовым телом Т-54-14.

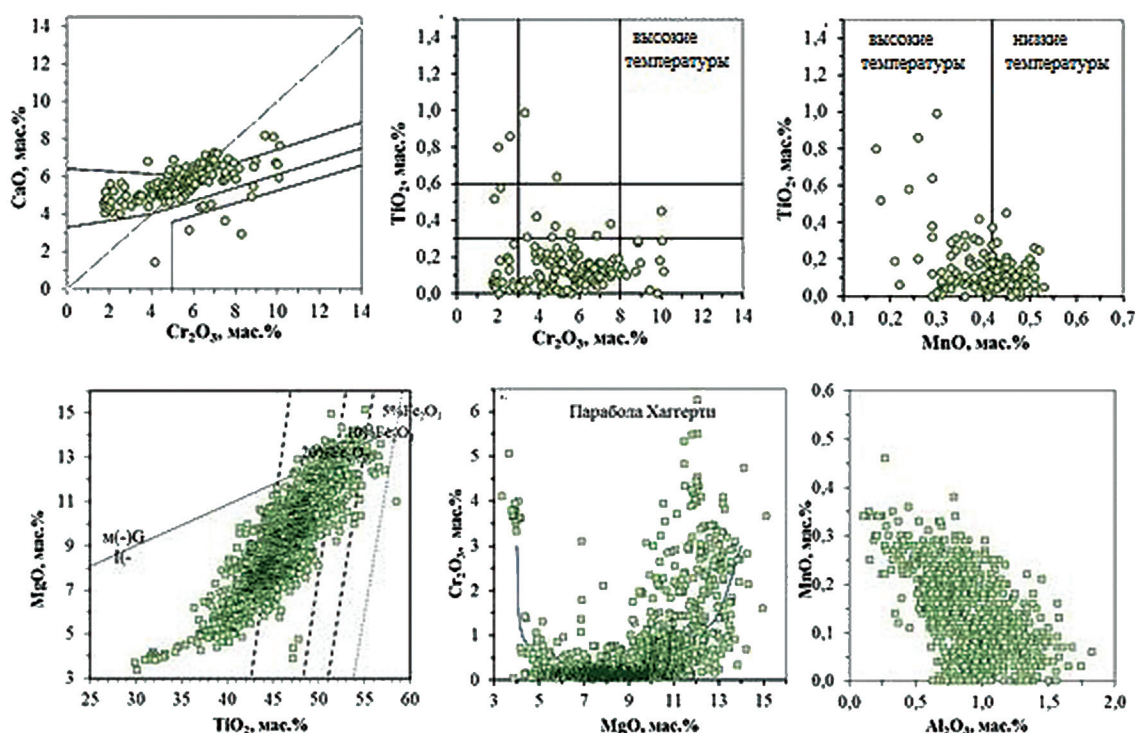


Рис. 3. Бинарные диаграммы составов гранатов (верхний ряд) и пикроильменитов (нижний ряд) высоконтрастного ореола Хатырык (Сюльдюкарское поле). Значение линий и полей аналогично таковым на рис. 2.

Ореол ИМК Хатырык. В пределах границ Сюльдюкарского поля с 1982 г. известен высококонтрастный ореол ИМК Хатырык, расположенный в западной части поля, в бассейне одноимённого ручья [3]. Ореол характеризуется пироп-хромшпинелид-пикроильменитовой ассоциацией, но здесь мы рассмотрим составы только пикроильменитов и пиропов, полученные в ходе ранее проведённых поисковых работ [9—11]. В изученной выборке составов пиропов отсутствуют низкохромистые разновидности, преобладают пиропы лерцолитового парагенезиса, содержание пиропов алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса составляет всего 2,1% (рис. 3). Обращает на себя внимание низкое (0,4 мас. %) содержание MnO , что обычно присуще промышленно алмазоносным телам.

Составы пикроильменитов отличаются широкими вариациями основных породообразующих элементов. В заметных количествах встречаются высокохромистые разновидности: как низкомагнетизальные (ферритмагнитные), так и высокомагнетизальные, парамагнитные при комнатной температуре. По соотношению примесных Al_2O_3 и MnO пикроильмениты Хатырыкского ореола отличаются от пикроильменитов кимберлитового тела Т-54-14: на диаграмме Al_2O_3 - MnO можно различить две области составов: одна, характеризующаяся повышенным содержанием MnO и пониженным — Al_2O_3 , другая — с пониженным содержанием

примеси MnO и повышенным — Al_2O_3 , (подобные составы отсутствуют в выборках пикроильменитов кимберлитового тела Т-54-14).

Это обстоятельство может прямо свидетельствовать о том, что данные группы составов изученных минералов отражают наличие разных источников кимберлитового материала, либо разное происхождение данного материала (к примеру, в выборке могут присутствовать составы пикроильменитов-вкрапленников и пикроильменитов из основной массы). Таким образом, существенные различия в составе пиропов и пикроильменитов ореола Хатырык и ИМК из кимберлитового тела Т-54-14, позволяют предполагать наличие других, ещё не выявленных кимберлитовых тел на территории Сюльдюкарского кимберлитового поля.

Ореол ИМК Восточный. К северо-востоку от Сюльдюкарского кимберлитового поля установлено несколько ореолов ИМК, среди которых наибольший интерес представляет высококонтрастный погребённый ореол Восточный, расположенный в пределах прогнозируемого Ыгыаттинского поля. В качестве возможного источника кимберлитового материала на данной территории можно рассматривать как тело, вскрытое при заверке аномалии Т-54-14, так и ещё не выявленные, но прогнозируемые кимберлитовые тела. Ассоциация ИМК в пределах Восточного участка устойчивая, преимущественно пироп-пикроильменитовая, максималь-

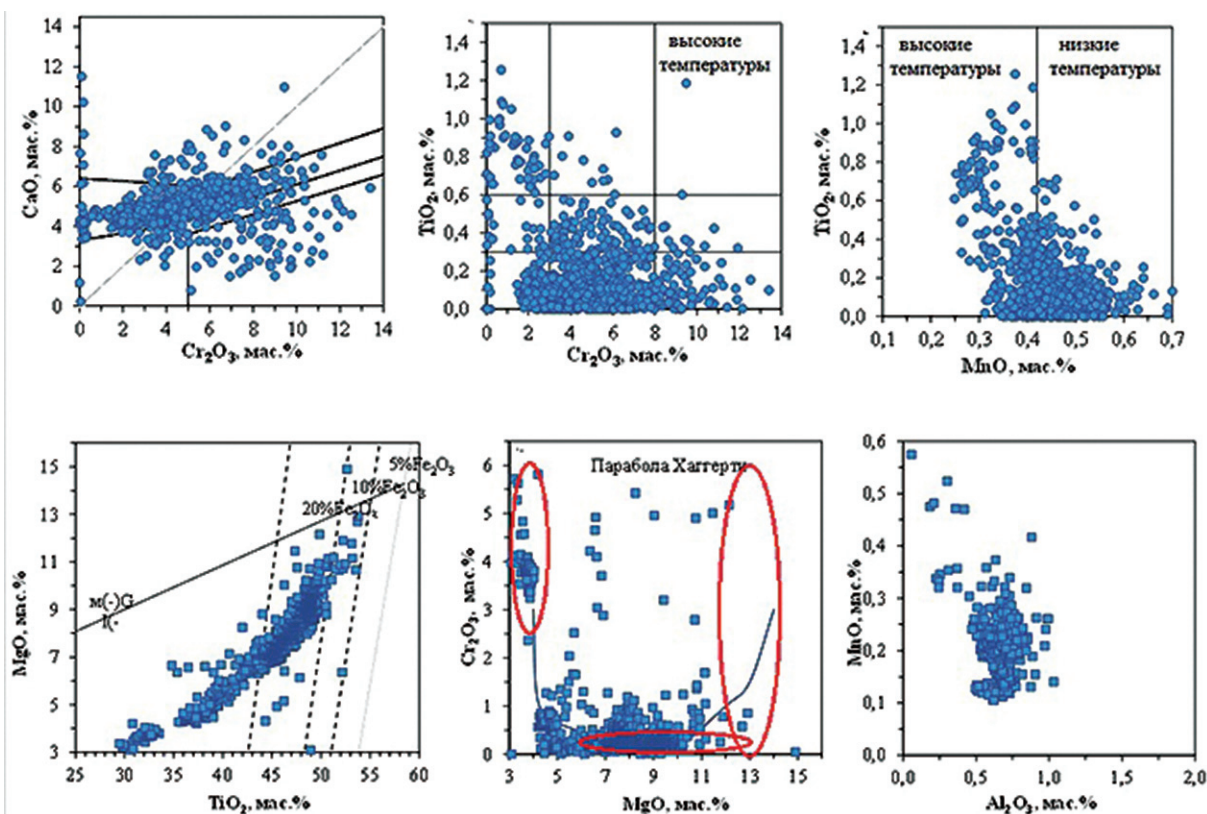


Рис. 4. Бинарные диаграммы составов гранатов (верхний ряд) и пикроильменитов (нижний) высоконтрастного ореола Восточный (Ыгыаттинское поле). Значение линий и полей аналогично таковым на рис. 2. Для пикроильменитов на диаграмме MgO - Cr_2O_3 красным показаны поля составов пикроильменитов Мирнинского поля [6]

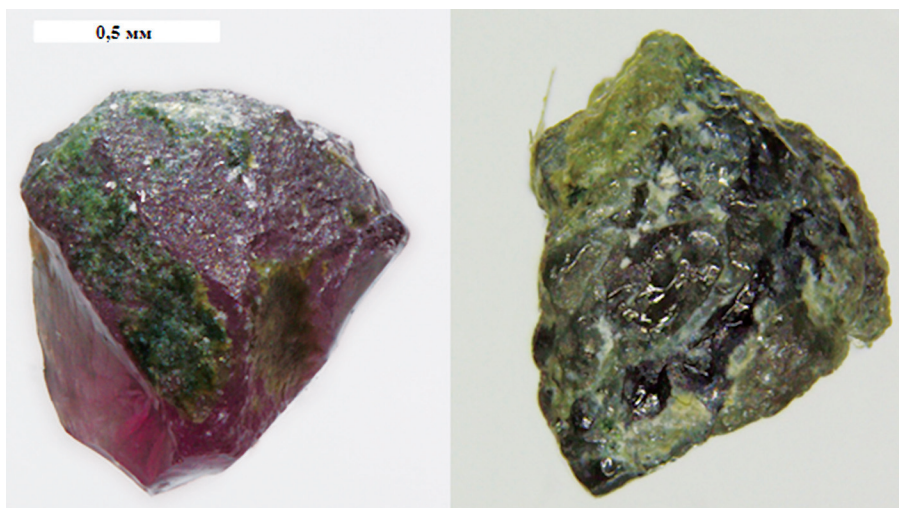


Рис. 5. Пиропы без признаков механического износа с участка Восточный

ные концентрации ИМК наблюдаются в подавляющем большинстве случаев в нижнепермских отложениях ахтарандинской свиты (рис. 1).

В выборке гранатов из шлиховых проб ореола Восточный отмечается небольшое количество (3,2%) гранатов эклогитового парагенезиса при преобладании лерцолитовых пиропов; отмечено заметное (около 10%) количество верлитовых пиропов, достаточно редко встречающихся в кимберлитах Сюльдюкарского поля и в близлежащих ореолах ИМК. Доля пиропов алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса также значительно выше, чем в изученных кимберлитах, и составляет 7,1% (рис. 4). Кроме того, в отличие от гранатов из кимберлитов Сюльдюкарского поля, в ореоле Восточный присутствует заметное количество гранатов с высоким содержанием TiO_2 и уваровитового минала (содержание Cr_2O_3 более 10 мас. %). Среднее содержание MnO в гранатах составляет 0,45 мас. %, что характерно для промышленно алмазоносных тел [1, 10, 18].

В шлиховых поисковых пробах участка, отобранных преимущественно из отложений ахтарандинской свиты нижней перми, периодически отмечаются уникальные находки пиропов без признаков механического износа, нередко с сохранившейся первичной трещиноватостью и реликтами измененной келифитовой каймы на поверхности (рис. 5). Состав келифитовых кайм по стехиометрии близок к флогопитам, глинизированным в различной степени. Для флогопитов, ассоциирующих с пиропами, в целом типична зональность, выраженная в закономерном увеличении содержания Cr_2O_3 в направлении от внутренней части каймы к ее внешнему краю. В келифитовой кайме некоторых зёрен были также установлены идиоморфные микрокристаллические хромшпинелиды (рис. 6) с содержанием Cr_2O_3 на уровне 40—45 мас. %, что подтверждает образование каймы в результате реакционного воздействия кимберлитового расплава.

Пробы, отобранные из ореола Восточный, содержащие пиропы без признаков механического износа, не имеют чёткой локализации в пределах участка, встречаются спорадически, что, по-видимому, связано с низкими коллекторскими свойствами нижнепермских отложений (мелкозернистые песчаные и глинисто-алевритовые разновидности). В известной степени это осложняет локализацию перспективной площади и проведение поисковых работ на данной территории. Тем не менее подобные находки пиропов без видимых следов износа, в совокупности с единичными находками алмазов, рассматриваемыми нами в качестве прямых минералогических признаков, совместно с благоприятными структурно-тектоническими и геолого-геофизическими поисковыми предпосылками,

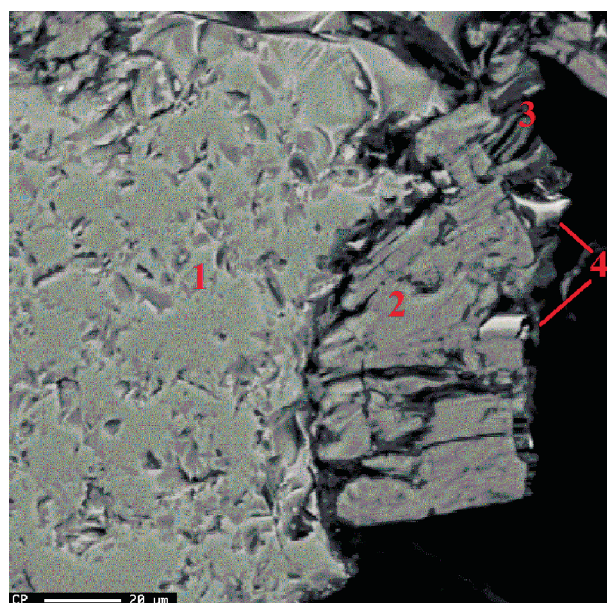


Рис. 6. Фрагмент зерна пироба с реликтом келифитовой каймы (электронно-зондовый снимок в отраженных электронах): 1 — пироп, 2 — флогопит, 3 — глина, 4 — хромшпинелиды

позволяют предполагать наличие на данном участке коренного источника алмазов [2, 3, 5].

Среди пикроильменитов ореола Восточный установлены высокохромистые низкомагнезиальные разности, типичные для известных кимберлитовых тел Мирнинского поля и встречающиеся также в ореоле Хатырык. При этом количество высокомагнезиальных пикроильменитов с различным содержанием примеси Cr_2O_3 , характерных для пикроильменитов известных тел Мирнинского поля [6], небольшое. По соотношению содержаний оксидов Mn и Al пикроильмениты близки к пикроильменитам кимберлитового тела Т-54-14 [7, 8, 10].

Таким образом, составы пиропов и пикроильменитов ореола Восточный заметно отличаются от составов ИМК ореола Хатырык и кимберлитов Сюльдюкарского поля. По характеру распределения основных и примесных элементов, эти минералы ореола Восточный имеют определённое сходство с пиропами и пикроильменитами известных алмазоносных тел высокопродуктивного Мирнинского поля (трубки Мир и Интернациональная), но более высокое содержание в них MnO — температурный показатель — свидетельствует об иных условиях образования, следовательно, и другом коренном источнике.

Наличие в пределах Ыгыаттинского алмазоносного района ореолов ИМК, подобных Восточному, с учётом благоприятной структурно-тектонической позиции, находок алмазов и пиропов без следов механического износа позволяет уверенно прогнозировать в пределах этого района новые (Ыгыаттинского и Утунинского) кимберлитовые поля среднепалеозойского возраста с повышенной алмазоносностью (рис. 1) [3, 12–14, 16, 18].

Выводы

1. Сравнительная характеристика составов пиропов и пикроильменитов Ыгыаттинского (ореол Восточный) и Сюльдюкарского (ореол Хатырык) кимберлитовых полей показывает их значимые различия от первого выявленного кимберлитового тела Т-54-14:

Кимберлитовое тело Т-54-14: среди пиропов преобладают разновидности лерцолитового парагенезиса [17], доля пиропов алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезиса не превышает 1,8%. Среди пикроильменитов преобладают низкохромистые разновидности с содержанием маг-

ния 5—9 мас. % MgO, отсутствуют высокохромистые низкомагнезиальные разновидности.

Ореол Восточный: среди пиропов отмечено более высокое, чем в теле Т-54-14, содержание пиропов верлитового (10%) и алмазоносного дунит-гарцбургитового парагенезисов (7%), более низкое содержание примеси MnO — 0,45 мас.%. Среди пикроильменитов установлены высокохромистые низкомагнезиальные разности, отсутствующие в выборке ИМК из кимберлитового тела Т-54-14.

Ореол Хатырык: составы пиропов по содержанию макрокомпонентов и соотношению пиропов различных парагенезисов [17] показывают определённое сходство с пиропами кимберлитового тела Т-54-14, при этом отличаются высоким содержанием примеси марганца — в среднем 0,5 мас. % MnO. Составы пикроильменитов характеризуются наличием высокохромистых низкомагнезиальных разностей и заметным количеством составов, отвечающих высокомагнезиальным высокохромистым пикроильменитам, типичным для высокоалмазных тел.

2. Помимо выявленного первого кимберлитового тела Т-54-14 в Сюльдюкарском поле прогнозируется новый коренной источник ИМК, сформировавший ореол Хатырык. Прогнозируемая алмазоносность данного источника, учитывая состав ИМК и наличие алмазов, ожидается на более высоком уровне по сравнению с Сюльдюкарским кимберлитовым телом (аномалия Т-54-14).

3. Прямые минералого-геохимические поисковые признаки и благоприятная структурно-тектоническая обстановка позволяют прогнозировать в Ыгыаттинском алмазоносном районе новые коренные источники алмазов, ответственные за ореол Восточный. Потенциальная продуктивность прогнозируемых объектов ожидается на уровне средней, но в целом большей по сравнению с выявленными кимберлитами Сюльдюкарского поля.

4. Наличие различных высококонтрастных ореолов ИМК, существенные различия в их минеральном составе, в том числе присутствие пиропов алмазных парагенезисов, а также прямые находки алмазов и пиропов без следов механического износа в осадочных каменноугольных и пермских отложениях с заведомо низкими коллекторскими свойствами, указывают на перспективность обнаружения промышленно-алмазоносных кимберлитовых тел в Ыгыаттинском районе.

ЛИТЕРАТУРА

- 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.
- Горев Н.И., Герасимчук А.В., Проценко Е.В., Толстов А.В. Тектонические аспекты строения Вилюйско-Мархинской зоны, их использование при прогнозировании кимберлитовых полей // Наука и образование. 2011. № 3. С. 5–10.
- Емельянов В.С., Толстов А.В., Борис Е.И. Новые данные о перспективах коренной алмазоносности Вилюйско-Мархинской зоны разломов // Вопросы методики прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых. Якутск: Издательство СО РАН, 2004. С. 115–123.

4. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Штейн Я.И., Толстов А.В., Яныгин Ю.Т. Геологические и минерало-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии // Руды и металлы 2006. № 4. С. 59–67.
5. Калмыков Б.А., Пелецкий М.Н. Палеогеографические особенности формирования Хатырыкского ореола кимберлитовых минералов // Мат. науч.-практ. конф. к 30-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК АЛРОСА «Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов». Мирный, 1998. С. 218–221.
6. Костровицкий С.И., Специус З.В., Яковлев Д.А., Фон-дер-Флаас Г.С., Суворова Л.Ф., Богуш И.Н. Атлас коренных месторождений алмазов Якутской кимберлитовой провинции / Отв. редактор Н.П. Похиленко. Мирный: ООО «МГТ», 2015. 480 с.
7. Лапин А.В., Толстов А.В., Антонов А.В. Изотопный состав Sr- и Nd- кимберлитов и конвергентных с ними пород Сибирской платформы // Доклады АН. 2007. Т. 414. № 1. С. 78–82.
8. Лапин А.В., Толстов А.В., Василенко В.Б. Петрогеохимические особенности кимберлитов Средне-Мархинского района в связи с проблемой геохимической неоднородности кимберлитов // Геохимия. 2007. № 12. С. 1292–1304.
9. Мальцев М.В. Критерии локализации и вещественно-индикационные признаки Сюльдюкарского кимберлитового тела как основа прогнозирования месторождений алмазов в Ыгыаттинском районе (Западная Якутия). Мирный, 2018. 24 с.
10. Мальцев М.В., Толстов А.В., Старкова Т.С., Иванов А.С. Особенности вещественного состава кимберлитов Сюльдюкарского поля (Западная Якутия) // Наука и образование. 2017. № 4. С. 37–43.
11. Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2016. № 3. С. 86–94.
12. Мальцев М.В., Толстов А.В. Новые перспективы коренной алмазоносности Вилуй-Мархинского междуречья // Материалы Всероссийской научно-практической конференции ВНИПК-2017. Якутск, 2017. С. 339–344.
13. Мальцев М.В., Толстов А.В. Перспективы выявления новых месторождений алмазов в Западной Якутии (Вилуй-Мархинское междуречье, Ыгыаттинский алмазоносный район) // Геология и минералогия Северной Евразии. Материалы совещания, приуроченного к 60-летию ИГиГ СО АН СССР. Новосибирск, 2017. С. 149–150.
14. Проценко Е.В., Толстов А.В., Горев Н.И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. 2018. № 4. С. 14–23.
15. Толстов А.В., Минин В.А., Василенко В.Б., Кузнецова Л.Г., Разумов А.Н. Новое тело высокоалмазоносных кимберлитов в Накыньском поле Якутской алмазоносной провинции // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 3. С. 227–240.
16. Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Tolstov A.V., Orihashi Y., Nakai S., Serov I.V. Age of Mirny field kimberlites (Siberia) and application of rutile and titanite for U-Pb Dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS // Geochemical Journal. 2016. T. 50. N 5. P. 431–438.
17. Sobolev N.V., Tomilenko A.A., Tolstov A.V., Logvinova A.M., Kuz'min D.V., Sobolev A.V., Batanova V.G. Unique compositional peculiarities of olivine phenocrysts from the post flood basalt diamondiferous Malokouonapskaya Kimberlite Pipe, Yakutia // Doklady Earth Sciences. 2015. T. 463. N 12. P. 828–832.
18. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Minin V.A., Tolstov A.V. Evaluating the diamondiferous potential of unaltered kimberlites by the population models of their composition // Geochemistry International. 2012. T. 50. № 12. P. 988 – 1006.

REFERENCES

1. Vasilenko V.B., Tolstov A.V., Kuznetsova L.G., Minin V.A. Petrohimicheskie kriterii ocenki almazonosnosti kimberlitovykh mestorozhdenij Yakutii [Petrochemical criteria of diamond content evaluation of the Yakutian kimberlite deposits]. *Geohimiya* [Geochemistry] 2010, no. 4, pp. 366–376. (In Russian)
2. Gorev N.I., Gerasimchuk A.V., Protsenko E.V., Tolstov A.V. Tektonicheskie aspekty stroeniya Vilyujsko-Marhinskogo zony, ih ispol'zovanie pri prognozirovanii kimberlitovykh polej [Tectonic aspects of the structure of the Vilyui-Markha zone, their use in predicting kimberlite fields]. *Nauka i obrazovanie* [Science and Education], 2011, no. 3, pp. 5–10. (In Russian)
3. Yemelyanov V.S., Tolstov A.V., Boris E.I. Novye dannye o perspektivah korennoj almazonosnosti Vilyujsko-Marhinskoy zony razlomov [New data concerning native diamond content prospects of Vilyuy-Markha fracture zone]. *Voprosy metodiki prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh* [Issues of mineral deposits forecasting and prospecting techniques], YB SU «SB RAS Publisher», Yakutsk, 2004, pp. 115–123. (In Russian)
4. Ignatov P.A., Bushkov K.Y., Stein Y.I., Tolstov A.V., Yanygin Y.T. Geologicheskie i mineralogo-geohimicheskie priznaki struktur, kontroliruyushchih almazonosnye kimberlity Nakynskogo polya Yakutii [Geological and mineralogical-geochemical features of the Nakyn field (Yakutia) diamondiferous kimberlites controlling structures]. *Rudy i metall* [Ores and metals] 2006, no. 4, pp. 59 – 67. (In Russian).
5. Kalmykov B.A., Peletskiy M.N. Paleogeographical peculiarities of Khatyryk kimberlite minerals' aureole formation. *Collected papers from the Theoretical and practical conference devoted to the 30th anniversary of YanIGP CSRMPI (ALROSA JSC) «Diamond deposits geology, location patterns, forecasting and prospecting techniques»*, Mirny, 1998, pp. 218–221. (In Russian)
6. Kostrovickij S.I., Specius Z.V., Yakovlev D.A., Fon-der-Flaas G.S., Suvarova L.F., Bogush I.N. *Atlas korenykh mestorozhdenijalmazov Yakutskoj kimberlitovoj provincii. Otv. redaktor Pohilenko N.P.* [Atlas of primary diamond deposits of Yakutian kimberlite province. Edited by N.P. Pokhilenko]. Mirny, LLC «MGT» Publ., 2015, 480 p. (In Russian)
7. Lapin A.V., Tolstov A.V., Antonov A.V. Izotopnyj sostav Sr- i Nd- kimberlitov i konvergentnykh s nimi porod Sibirskoj platformy [The Sr-Nd isotope composition of kimberlites and convergent rocks of the Siberian platform]. *Doklady RAN* [Doklady Earth Sciences] 2007, vol. 414, no. 1, pp. 78–82. (In Russian)
8. Lapin A.V., Tolstov A.V., Vasilenko V.B. Petrogeohimicheskie osobennosti kimberlitov Sredne-Marhinskogo rajona v svyazi s problemoj geohimicheskoy neodnorodnosti kimberlitov [Petrogeochemical peculiarities of kimberlites from Sredne-Marhinskii diamondiferous region in connection with the problem of kimberlite geochemical heterogeneity]. *Geohimiya* [Geochemistry], 2007, no. 12, pp. 1292–1304. (In Russian)
9. Maltsev M.V. *Kriterii lokalizacii i veshchestvenno-indikacionnye priznaki Syul'dyukarskogo kimberlitovogo tela kak osnova prognozirovaniya mestorozhdenijalmazov v Ygyatinskome rajone (Zapadnaya Yakutiya)* [Localization criteria and real indication indicators of the Syuldyukarsky kimberlite body as a basis for predicting diamond deposits in the Ygyatta region (Western Yakutia)], Mirny, 2018, 24 p. (In Russian)
10. Maltsev M.V., Tolstov A.V., Starikova T.S., Ivanov A.S. Osobennosti veshchestvennogo sostava kimberlitov Syul'dyukarskogo polya (Zapadnaya Yakutiya) [Substance composition features of the Syuldyukar field kimberlites (Western Yakutia)]. *Nauka i obrazovanie* [Science and education], Yakutsk, 2017, no. 4, pp. 37–43. (In Russian)
11. Maltsev M.V., Tolstov A.V., Fomin V.M., Starkova T.S. Novoe kimberlitovoe pole v Yakutii i tipomorfnye osobennosti ego mineralov-indikatorov [A new kimberlite field in Yakutia and its indicator minerals' typomorphic features]. *Vestnik VGU. Seriya: Geologiya* [VSU Herald. Issue series: Geology], 2016, no. 3, pp. 86–94. (In Russian)
12. Maltsev M.V., Tolstov A.V. New native diamond content prospects of Vilyuy-Markha interfluv. *Collected papers of the All-Russian theoretical and practical conference ARTPC-2017*, Yakutsk, 2017, pp. 339–344. (In Russian)
13. Maltsev M.V., Tolstov A.V. Prospects of detection of new diamond deposits within West Yakutia (Vilyuy-Markha interfluv, Ygyatta diamondiferous region). *Geology and minerageny of North Eurasia. Collected papers from the conference devoted to the 60th anniversary of IPGG SB RAS*, Novosibirsk, 2017, pp. 149–150. (In Russian)

14. Protchenko E.V., Tolstov A.V., Gorev N.I. Kriterii poiskov kimberlitov i novye perspektivy korennoj almazonosnosti Yakutii [Criteria for searching for kimberlites and new perspectives of the core diamond-bearing potential of Yakutia]. *Rudy i metally* [Ores and metals], 2018, no.4, pp. 14–23. (In Russian)
15. Tolstov A.V., Minin V.A., Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Razumov A.N. Novoe telo vysokoalmazonosnykh kimberlitov v Nakynskom pole Yakutskoj almazonosnoy provincii [A new highly diamondiferous kimberlite body in the Nakyn field of the Yakutian diamondiferous province]. *Geology and geophysics*, 2009, vol. 50, no. 3, pp. 227 — 240. (In Russian).
16. Agashev A.M., Pokhilenko N.P., Tolstov A.V., Orihashi Y., Nakai S., Serov I.V., The Age of the Mirny field kimberlites (Siberia) and application of rutile and titanite for U-Pb dating of kimberlite emplacement by LA-ICP-MS. *Geochemical Journal*, 2016, vol. 50, no. 5, pp. 431–438.
17. Sobolev N.V., Tomilenko A.A., Tolstov A.V., Logvinova A.M., Kuz'min D.V., Sobolev A.V., Batanova V.G., Unique compositional peculiarities of olivine phenocrysts from the post flood basalt diamondiferous Malokunapskaya Kimberlite Pipe, Yakutia. *Doklady Earth Sciences*, 2015, vol. 463, no. 2, pp. 828–832.
18. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Minin V.A., Tolstov A.V. Evaluating the diamondiferous potential of unaltered kimberlites by the population models of their composition. *Geochemistry International*, 2012, vol. 50, no. 12, pp. 988–1006.

УДБ 553.411 (571.6)

ЗОЛОТОНОСНОСТЬ КАМЧАТСКОГО СРЕДИННОГО МАССИВА

В.А. СТЕПАНОВ, В.Е. КУНГУРОВА, И.А. КОЙДАН

Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН
30, Северо-Восточное шоссе, г. Петропавловск-Камчатский 683002, Россия
e-mail: vitstepanov@yandex.ru, kunwe@yandex.ru, koidan91@mail.ru

Проанализирована золотоносность Камчатского срединного массива. Показано, что в его пределах широко развиты оруденение малосульфидной золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций, а также образованные за его счёт россыпей. Значительную роль играют и рудопоявления золотомедно-молибден-порфировой формации, перспективные на обнаружение крупных месторождений с комплексными рудами. Кроме того, золото в виде попутного компонента находится в рудах месторождения Шануч и проявлений сульфидной медно-никелевой формации. Выделены три этапа рудообразования: позднемиоценовый, эоценовый и миоценовый. В позднемиоценовый этап формировалось оруденение золотокварцевой и золотосульфидно-кварцевой формаций, в эоцене — сульфидной медно-никелевой, а в миоцене — золотомедно-молибден-порфировой. Определены перспективы золотоносности срединного массива.

Ключевые слова: срединный массив; оруденение; золото; медь; никель; молибден.

DOI:10.32454/0016-7762-2019-2-44-53

GOLD MINERALIZATION OF THE MEDIAN MASSIF, KAMCHATKA (KAMCHATKA SREDINNYI MASSIF)

V.A. STEPANOV, V.E. KUNGUROVA, I.A. KOIDAN

Geotechnological Scientific Research Center, FEB RAS
30, Severo-Vostochnoye Shosse, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russia
e-mail: vitstepanov@yandex.ru, kunwe@yandex.ru, koidan@mail.ru

The gold mineralization of the Kamchatka median massif has been analyzed. It has been shown that within its limits, the ore mineralization of low-sulphide gold-quartz and gold-sulfide-quartz formations and also placers, formed on the base of this mineralization are widely developed. A significant role is played also by the ore occurrences of the gold-copper-molybdenum-porphyry formation, prospecting for the discovery of large deposits with complex ores. Gold in the form of associated component is also presented in the ores of the Shanuch deposit and manifestations of the sulfide copper-nickel formation. Three stages of ore formation have been identified: late Cretaceous, Eocene and Miocene. In the late Cretaceous stage mineralization of gold-quartz and gold-sulfide-quartz formation was formed, in the Eocene — sulfide copper-nickel one, and in the Miocene — gold-copper-molybdenum-porphyry one. The prospects of gold mineralization of the median massif has been defined.

Key words: median massif; mineralization; gold; copper; nickel; molybdenum.