



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-65-78>
УДК 553.493.67:553.81(571.56)



ПЕРСПЕКТИВЫ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, ГРАФИТ, УГЛЕВОДОРОДЫ) В АЛМАЗОНОСНЫХ РАЙОНАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

П.А. ИГНАТОВ¹, Р.У. ЕРЕМЕНКО^{1,*}, А.В. ТОЛСТОВ², И.М. ОВЧИННИКОВ³

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² ФГБУН «Институт геологии алмаза и благородных металлов» Сибирского отделения
Российской академии наук
39, Ленина пр., г. Якутск 677000, Россия

³ АК «АЛРОСА» (ПАО)
6, Ленина ул., г. Мирный 678174, Республика Саха (Якутия), Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В пределах Накынского, Мирнинского и Слюдякарского алмазоносных полей, входящих соответственно в Средне-Мархинский, Мало-Ботуобинский и Ыгыаттинский районы Западной Якутской алмазоносной провинции, имеются предпосылки, признаки и проявления месторождений стратегических видов минерального сырья Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, REE, углеводородов и графита.

Цель. Установить наличие стратегических видов полезных ископаемых в алмазоносных районах Западной Якутии.

Материалы и методы. В основе исследования лежат данные личной документации керна и точечных проб. Также компанией АЛРОСА были предоставлены результаты тысячи РФА-анализов, отобранных систематически при бурении поисковых скважин на кимберлиты. Обработка данных выполнена по стандартной методике статистического анализа с использованием возможностей программы Excel. Картирование и ведение цифровой базы данных осуществлялось в среде Quantum GIS (QGIS).

Результаты. В Ыгыаттинском районе в триасовых силлах Холомолахской интрузии локализованы площади в ранге потенциальных рудных полей сульфидных медно-никелевых с платиноидами руд Норильско-Талнахского типа. В поздний девон-каменноугольной коре выветривания по кимберлитам имеется рудопроявление Sc, Co, Ni, V, цериевых редких земель. В Накынском поле в переотложенных корях выветривания поздний триас-раннеюрского возраста локализованы рудопроявления скандия и проявления ванадия и цериевых редких земель. В Мало-Ботуобинском районе установлены участки проявлений Sc, Cu-Ni сульфидной минерализации, бурого угля, графита и битумов как признаков залежей нефти, а также рассолы с высокими содержаниями брома, стронция и лития.

Закключение. Представленные данные позволяют установить наличие различных типов полезных ископаемых в разных алмазоносных районах Западной Якутии и могут стать основой для будущих поисковых работ.

Ключевые слова алмазоносные поля, коры выветривания, стратегические виды минерального сырья Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, REE, Li, Sr, графит, уголь, Br-Sr-Li рассолы, битумы, нефть

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена в рамках исследований МГРИ по гранту Российского научного фонда № 23-27-00280.

Для цитирования: Игнатов П.А., Еременко Р.У., Толстов А.В., Овчинников И.М. Перспективы обнаружения месторождений стратегических полезных ископаемых (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, графит, углеводороды) в алмазоносных районах юга Западной Якутии. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(1):65—78.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-65-78>

Статья поступила в редакцию 30.11.2023

Принята к публикации 12.12.2023

Опубликована 29.04.2024

* Автор, ответственный за переписку

PROSPECTS FOR THE DISCOVERY OF STRATEGIC MINERAL DEPOSITS (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, GRAPHITE, HYDROCARBONS) IN THE DIAMOND-BEARING AREAS OF THE SOUTH OF WESTERN YAKUTIA

PETR A. IGNATOV¹, RUSLAN U. EREMENKO^{1,*}, ALEXANDER V. TOLSTOV², ILYA M. OVCHINNIKOV³

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117997, Russia*

² *Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
39, Lenin ave., Yakutsk 677000, Russia*

³ *JSC ALROSA (PJSC)
6, Lenina str., Mirny 678174, Republic of Sakha (Yakutia), Russia*

ABSTRACT

Background. There are prerequisites, signs and manifestations of deposits of strategic types of mineral raw materials Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, REE, hydrocarbons and graphite within the Nakyn, Mirninsky and Syuldyukarsky diamond-bearing fields, which are included, respectively, in the Sredne-Markhinsky, Malo-Botuobinsky and Ygyattinsky districts of the Western Yakut diamond province, there are prerequisites, signs and manifestations of deposits of strategic types of mineral raw materials Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, REE.

Aim. To establish the presence of strategic types of minerals in the diamond-bearing regions of Western Yakutia.

Materials and methods. The study is based on personal documentation of core and spot samples. ALROSA also provided the results of thousands of XRF analyzes that were systematically selected when drilling exploratory wells for kimberlites. Data processing was carried out according to standard statistical analysis methods using the capabilities of the Excel program. Mapping and maintenance of the digital database was carried out in the Quantum GIS (QGIS) environment.

Results. In the Ygyatta district, in the Triassic sills of the Holomolokha intrusion, areas in the rank of potential ore fields of copper-nickel sulfide ores with platinoids of the Norilsk-Talnakh type are localized. In the Late Devonian-carboniferous crust of weathering by kimberlites, there is an ore occurrence of Sc, Co, Ni, V, cerium rare earths. In the Nakyn field, ore occurrences of scandium and manifestations of vanadium and cerium rare earths are localized in the re-deposited weathering crusts of the late Triassic-Early Jurassic age. In the Malo-Botuobinsky district, sites of manifestations of Sc, Si-Ni sulfide mineralization, brown coal, graphite and bitumen as signs of oil deposits, as well as brines with high concentrations of bromine, strontium and lithium were found.

Conclusion. The presented data allows us to establish the presence of various types of minerals in different diamond-bearing regions of Western Yakutia and can become the basis for future prospecting work.

Keywords: diamond-bearing fields, weathering crusts, strategic types of mineral raw materials, Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, REE, Li, Sr, graphite, coal, Br-Sr-Li brines, bitumen, oil

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the work was carried out within the framework of MGRI research under the grant of the Russian Science Foundation No. 23-27-00280.

For citation: Ignatov P.A., Eremenko R.U., Tolstov A.V., Ovchinnikov I.M. Prospects for the discovery of strategic mineral deposits (Cu, Co, Ni, EPG, Sc, V, Li, REE, Sr, graphite, hydrocarbons) in the diamond-bearing areas of the south of Western Yakutia. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(1):65—78. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-1-65-78>

Manuscript received 30 November 2023

Accepted 12 December 2023

Published 29 April 2024

* Corresponding author

Введение

В Западно-Якутской алмазоносной провинции, помимо алмазных месторождений, известно гигантское месторождение редких металлов в карбонатитах Томтор [10,17], имеются месторождения нефти и газа [1], металлоносные рассолы [3, 15], многочисленные россыпи золота и платины [19], обоснованы перспективы обнаружения сульфидных медно-никелевых с платиноидами руд Норильского типа [9] и скандиевых месторождений в древних корях выветривания [5],

Ниже приведены примеры проявлений этих и других стратегических видов минерального сырья, распространенных в Мало-Ботуобинском, Средне-Мархинском и Ыгыаттинском кимберлитовых районах. Это особенно важно для первых двух районов, где в Мирнинском и Накынском полях ведется разработка алмазных месторождений, и обнаружение здесь месторождений высоколиквидных руд может существенно повысить их экономический потенциал.

Фактический материал и методы исследований

В работе использованы данные специальной авторской документации и изучения керн поисковых скважин [8], вскрывших разрезы осадочного чехла Восточно-Сибирской платформы до глубин 200 и более метров. Скважины пройдены Вилюйской ГРЭ по поисковым сетям от 400×400 до 100×100 и 20×40 м. В Накынском поле Средне-Мархинского района изучены тысячи разрезов общим объемом более 500 тысяч метров. В Слюдякарском поле Ыгыаттинского района задокументировано 430 разрезов объемом 14 000 м керн. В Мало-Ботуобинском районе на участке Улахан-Курунг-Юрях изучен керн 244 скважин длиной 7000 м, на поисковой площади Бестях — 238 скважин с объемом керн 17 300 м.

Для анализа геохимических данных использовано порядка 51 тысячи рентген-флуоресцентных (РФА) и десятки ICP AES анализов, выполненных в лабораториях АК АЛРОСА (ПАО) по результатам штучного опробования керн поискового бурения, выполненного геологами Вилюйской ГРЭ. Опробование было направлено на поиски кимберлитов и заверку шлихо-минералогических аномалий минералов — индикаторов кимберлитов и минералов — спутников алмаза.

Все скважины, пробы и анализы вместе с картографической основой введены в соответствующую составленную авторами базу данных, по которой создан геоинформационный проект в среде Quantum GIS (QGIS).

Обработка данных выполнена по стандартной методике статистического анализа с использованием возможностей программы Excel.

Результаты исследований

Проявления отмеченных выше высоколиквидных видов минерального сырья занимают свою позицию в геологическом разрезе южной части Западно-Якутской алмазоносной провинции. Это показано на сводных колонках Мало-Ботуобинского, Ыгыаттинского и Средне-Мархинского алмазоносных районов (рис. 1).

Надо отметить, что Мало-Ботуобинский и Ыгыаттинский районы имеют весьма похожее геологическое строение.

Главным типом месторождений в регионе являются коренные и россыпные месторождения алмазов. За исключением месторождения трубки Зарница, которая имеет мезозойский возраст, все промышленные алмазоносные трубки и дайки девонские. Они прорывают тонко обломочные и карбонатные толщи нижнего палеозоя и перекрыты угленосными породами верхнего карбона —

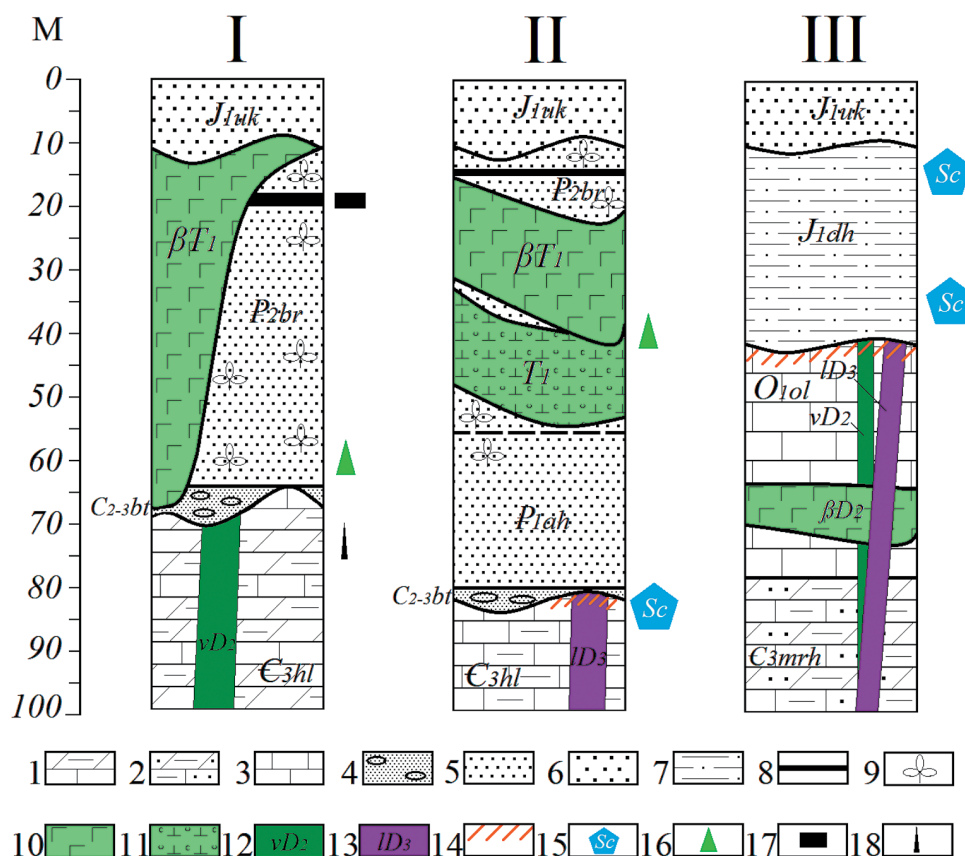


Рис. 1. Сводные колонки Мало-Ботуобинского (I) Ыгыаттинского (II) и Средне-Мархинского (III) районов и позиция потенциальных месторождений: 1—4 — мелководно-морские отложения верхнего кембрия мирнинской и холомолахской свит и олдондинской свиты ордовика: 1 — сероцветные песчано-глинисто-карбонатные; 2 — сероцветные и красноцветные карбонатно-глинистые; 3 — сероцветные доломиты и известняки; 4 — сероцветные полимиктовые конгломераты и песчаники ботуобинской свиты карбона-перми; 5 — пермские угленосные песчаники боруллойской и ахтарандинской свит; 6—7 — мелководно-морские юрские отложения: 6 — песчаники; 7 — глины и алевролиты; 8 — слои бурых углей; 9 — углефицированный растительный детрит; 10 — силлы триасовых габбро; 11 — триасовые туфы основного состава; 12 — девонские дайки и силлы основного состава; 13 — кимберлиты, в том числе алмазные; 14 — древние коры выветривания; 15—18 — проявления полезных ископаемых: 15 — скандия и сопутствующих Co, Ni, Ce; 16 — сульфидных Cu-Ni руд; 17 — бурого угля; 18 — битумов

Fig. 1. Summary columns of the Malo-Botuobinsky (I) Ygyattinsky (II) and Sredne-Markhinsky (III) districts and the position of potential deposits: 1—4 — shallow-sea sediments of the Upper Cambrian of the Myrnin and Holomolokha formations and the Oldondin formation of the Ordovician: 1 — gray-colored sandy-clay-carbonate; 2 — gray-colored and red-colored carbonate-clay; 3 — gray-colored dolomites and limestones; 4 — gray-colored polymictic conglomerates and sandstones of the Botuobin formation of the carbon-Permian; 5 — Permian coal-bearing sandstones of the Borulloi and Akhtarandin formations; 6—7 — shallow-sea Jurassic deposits: 6 — sandstones; 7 — clays and siltstones; 8 — layers of brown coals; 9 — carboniferous vegetable detritus; 10 — Triassic gabbro sills; 11 — Triassic tuffs of the main composition; 12 — Devonian dykes and sills of the main composition; 13 — kimberlites, including diamond-bearing; 14 — ancient weathering crusts; 15—18 — mineral manifestations: 15 — scandium and related Co, Ni, Ce; 16 — sulfide Cu-Ni ores; 17 — brown coal; 18 — bitumen

перми, туфами и силлами траппов триаса или юрскими тонкообломочными морскими отложениями. По данным многих определений абсолютного возраста и мнению большинства исследователей промышленные алмазные трубки имеют позднедевонский возраст [12].

В девонскую эпоху тектоно-магматической активизации вместе с кимберлитами формировались щелочно-ультраосновные карбонатитовые комплексы с редкометалльным оруденением [10, 17].

В регионе распространены образования древних кор выветривания позднедевонско-

каменноугольного и позднепермско-раннеюрского возрастов [4]. В них есть рудопоявления скандия, кобальта, никеля и редкоземельных элементов [5]. Нельзя исключать и интрузии монзонитов и карбонатитовые массивы девонского этапа активизации. Они могли служить благоприятной средой при формировании по ним скандиеносных с редкими землями кор выветривания.

С мезозойскими траппами связаны перспективы обнаружения сульфидных медно-никелевых с платиноидами руд. Они предполагаются в основании раздувов силлов, их фронтальных частях, в подстилающих их породах кембрия и покрывающих угленосных толщах перми [7].

С этими интрузиями надо ожидать месторождения графита в тех местах, где триасовые силлы непосредственно контактировали или ассимилировали относительно мощные пласты пермских бурых углей.

В четвертичных аллювиальных отложениях в регионе известны и во многом отработаны россыпные месторождения алмазов, золота и платины.

Рассматриваемые Мало-Ботуобинский, Ыгыаттинский и Средне-Мархинский алмазоносные районы располагаются в пределах регионально-среднепалеозойского Вилуйско-Мархинского дайкового пояса в узлах его пересечения с поперечными нарушениями [14, 16] (рис. 2).

Перспективы обнаружения Cu-Ni-EPG месторождений обоснованы в Ыгыаттинском районе [9]. Они базируются на ряде аналогий в геологии Норильского и Вилуй-Мархинского районов, в который входит Ыгыаттинский алмазоносный район. Аналогии включают следующие позиции.

1. Формации рудовмещающих пород. В Норильском рудном районе (НРР) — сульфатно-карбонатные девона, угленосные карбона-перми, трапповая перми-триаса; в Вилуй-Мархинском междуречье (ВММ) — сульфатно-карбонатные нижнего палеозоя, угленосные карбона-перми, трапповая перми-триаса.

2. Структурно-тектонические предпосылки:

- крупные брахисинклинали в осадочном чехле: в Норильском рудном районе это Норильская и Хараелахская, в Ыгыаттинском районе — Сунтарская впадина, Хатырыкская, Верхнехоломолахская и другие мульды в Сюльдюкарском поле;
- приуроченность рудных полей и узлов к центриклинальным частям синклиналей и склонам поднятий. В НРР это склоны Пясинского купола, в ВММ это могут быть склоны Сюльдюкарского купола.

3. Локализация Cu-Ni месторождений в НРР Норильском и Хараелахском дифференцированных силлах основного состава, включающих внизу пикриты, вверху пегматиты. В ВММ — это силлы Холомолахской интрузии, имеющей вверху пегматиты и содержащей сульфиды. Морфология силлов: в НРР длина 25 км, ширина 500—2000 м, мощность 50—300 м. В Ыгыаттинском районе ВММ это предполагаемые силлы близкой ширины, уходящие от центра Холомолахской интрузии до 11 км.

4. Локализация месторождений в осевой части глубинного долгоживущего разлома. В НРР это Норильско-Хараелахский разлом, в Ыгыаттинском районе — Хатырык-Холомолахский шов Вилуйско-Мархинской зоны нарушения, в котором располагаются дайки долеритов среднепалеозойского возраста, кимберлиты Сюльдюкарского тела и оси карбон-пермских грабен-синклиналей. Выявление и картирование тектонических и других признаков поисковых на алмазы скважин в породах кембрия позволило проследить этот и другие долгоживущие разломы на более чем 16 км. Они выражены признаками сбросов и сдвигов и поступления глубинных восстановительных газов и CO₂. По магнитометрии выделены узлы пересечения диагональных разломов, в одном из которых вероятен центр Холомолахской интрузии, в другом — центр потенциального на Cu-Ni-EPG рудного поля.

5. Месторождения НРР локализованы в осевой зоне, в понижениях дна, во фронтальных частях силлов. В ВММ по анализу структурных поверхностей нижнего палеозоя и его кровли на протяжении силлов, ответвляющихся от Холомолахской интрузии, имеются центриклинали и флексурные осложнения Верхнехоломолахской, Хатырыкской и других впадин. Они могли контролировать раздувы и фронтальные части силлов.

6. Хомустанское рудопоявление Cu-Ni с EPG, Co, Au, Ag сульфидных руд и проявления Cu, Ni, Co находятся в сульфатно-карбонатной формации кембрия, как медистые руды в девонской толще Талнахского рудного узла.

Перспективы на этого типа месторождений связаны с местами выклинивания и резкого увеличения мощностей силлов сульфидоносной Холомолахской интрузии пермо-триасового возраста в зоне влияния долгоживущего Хатырык-Холомолахского разлома (рис. 3).

Помимо этого, прожилки и вкрапления сульфидной минерализации с концентрациями Cu,

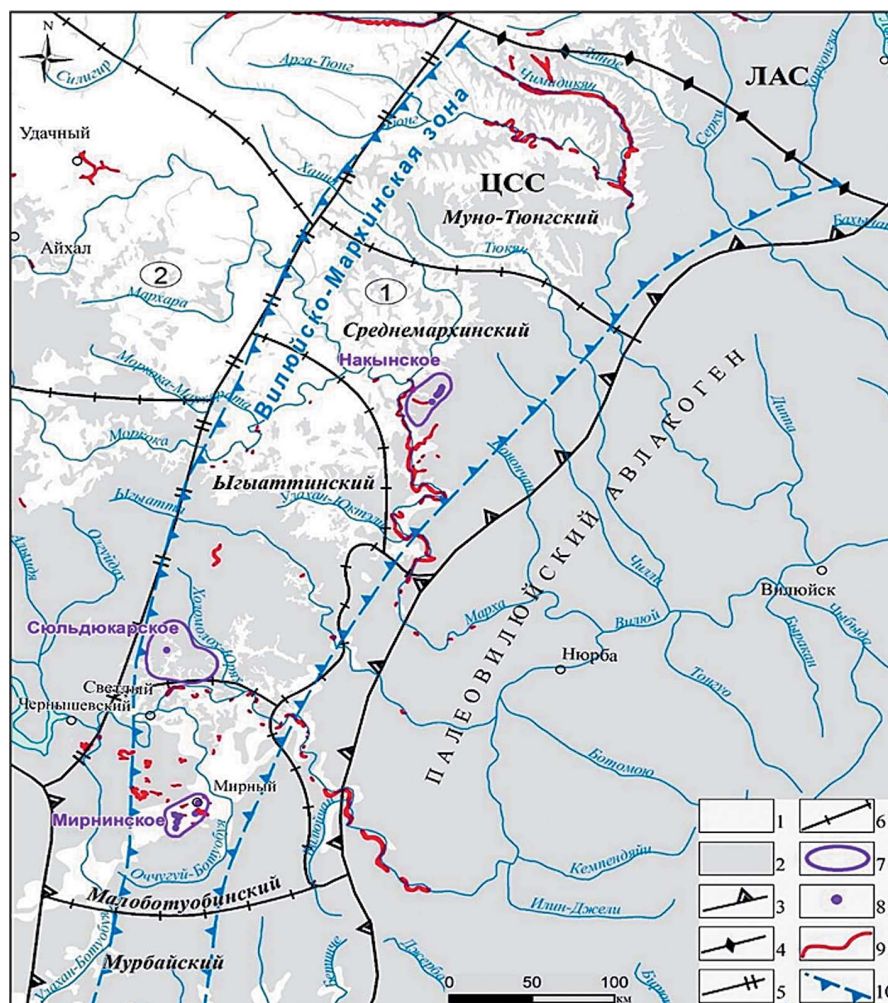


Рис. 2. Положение алмазоносных полей юга Якутской провинции, где обнаружены проявления стратегических видов полезных ископаемых [16]: 1—2 типы поисковых площадей: 1 — открытые для поисков, 2 — закрытые для поисков; 3—7 — границы разноранговых алмазоносных таксонов: 3 — Якутской алмазоносной провинции, 4 — субпровинций (ЦСС — Центрально-Сибирская, ЛАС — Лено-Анабарская), 5 — алмазоносных областей (1 — Вилуйско-Мархинская, 2 — Верхневилуйская), 6 — алмазоносных районов (и их названия), 7 — продуктивных кимберлитовых полей (и их названия: Н — Накынское, М — Мирнинское, С — Слюдякарское); 8 — алмазоносные кимберлитовые тела; 9 — россыпи и россыпепроявления алмазов; 10 — Вилуйско-Мархинская зона разломов

Fig. 2. The position of diamond-bearing fields in the south of the Yakut province, where manifestations of strategic types of minerals were found [16]: 1—2 types of search areas: 1 — open for searches, 2 — closed for searches; 3—7 — borders of different-rank diamond-bearing taxa: 3 — Yakut diamond-bearing province, 4 — subprovinces (CCSS — Central Siberian, LAS Lenoanabar), 5 — diamond-bearing regions (1 — Vilyuysko-Markhinskaya, 2 — Verkhnevilyuyskaya), 6 — diamond-bearing regions (and their names), 7 — productive kimberlite fields (and their names: N — Nakynskoye, M — Mirninsky, S — Suldjukarskoye); 8 — diamond-bearing kimberlite bodies; 9 — placers and placer occurrences of diamonds; 10 — Vilyuysko-Markhinskaya fault zone

Со, Ni и Zn до 0,0п—0п% обнаружены в породах верхнего кембрия и пермских углях в пределах поисковых площадей Улахан — Курунг — Юрях и Бестях в Мало-Ботуобинском районе.

В названных алмазоносных районах имеются предпосылки образования месторождений

собственно скандия и скандия совместно с ванадием и редкими землями в древних корках выветривания и в зоне древнего окисления в угленосных песчаниках перми, в корках выветривания по кимберлитам добавляется кобальт и никель. Они включают:

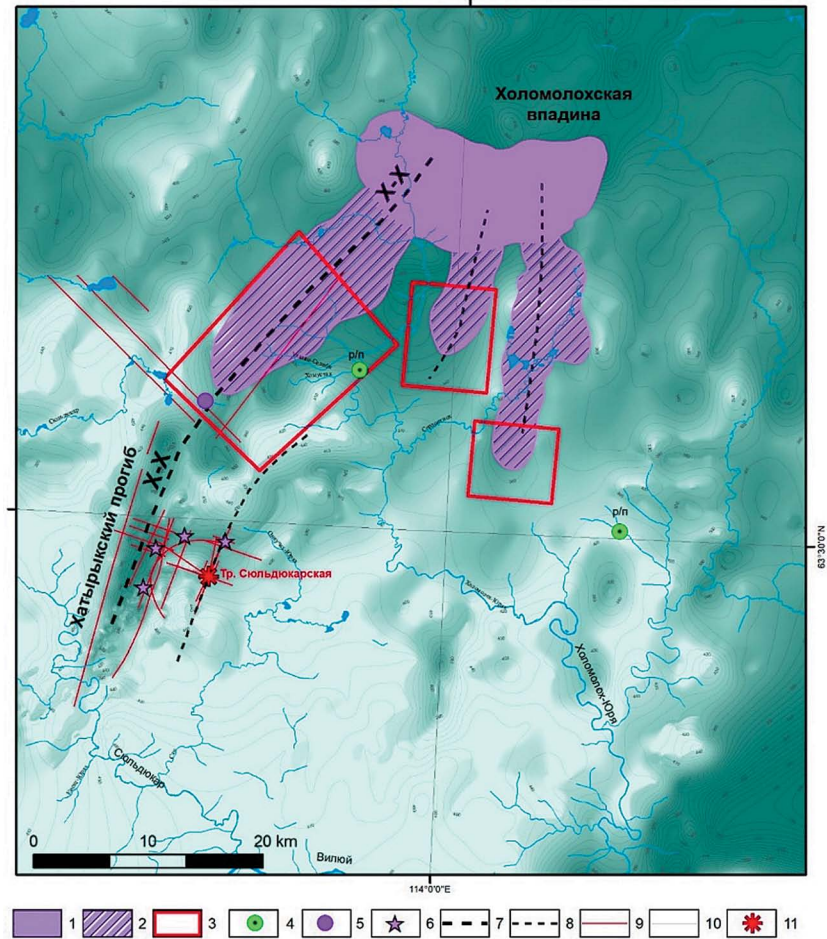


Рис. 3. Перспективные на Cu-Ni оруденение площади в Ыгыаттинском районе Вилуй-Мархинского междуречья: 1 — условный контур Холомолахской интрузии; 2 — предполагаемые контуры рудоносных триасовых силлов и их осевые зоны; 3 — перспективные площади; 4 — Cu-Ni рудопроявления; 5 — точка минерализации Cu-Ni в скважине 164,5—108; 6 — концентрационные аномалии Cu-Co-Ni-Zn; 7—9 — основные (7, 8) и второстепенные (9) рудоконтролирующие разломы, установленные по данным бурения, X-X — Хатырык-Холомолахский разлом; 10 — изогипсы кровли кембрия; 11 — кимберлитовая трубка Сюльдюкарская

Fig. 3. Promising areas for Cu-Ni mineralization in the Ygyatta district of the Vilyu-Markha interfluvium: 1 — conditional contour of the Holomolokha intrusion; 2 — assumed contours of ore-bearing Triassic sills and their axial zones; 3 — prospective areas; 4 — Cu-Ni ore occurrences; 5 — Cu-Ni mineralization point in the well 164,5—108; 6 — Cu-Co-Ni-Zn concentration anomalies; 7—9 — the main (7, 8) and secondary (9) ore-controlling faults established according to drilling data, X-X — Khatyryk-Holomolokhsy fault; 10 — isohypses of the Cambrian roof; 11 — kimberlite pipe Syuldyukarskaya

1) широкое распространение девонских и мезозойских траппов [11] и локально кимберлитов, карбонатитов и монцонитов — источников Sc и попутных компонентов (Co, Ni, REE);

2) наличие зрелых погребенных кор выветривания каменноугольного и мезозойского возрастов, развитых по терригенно-карбонатным породам нижнего палеозоя, девонским траппам и кимберлитам [4];

3) широкое распространение древнего внутрипластового, трещинно-пластового и грунтового

окисления, проявленных на крупных поднятиях, в том числе в рассматриваемых алмазонасных районах;

4) унаследованное телескопированное воздействие на материал кор выветривания древних грунтовых и пластовых кислых вод, агрессивных по Sc и TR и действие щелочного гидролизатного и сорбционного барьеров в глинистых горизонтах кор выветривания на терригенно-карбонатных породах нижнего палеозоя, базитах, монцонитах и кимберлитах;

5) относительно хорошая опойскованность районов на доступных до 100 м глубинах;

6) возможность эффективной отработки Sc руд способом скважинного подземного сернокислотного выщелачивания, технология которого эффективно действует на урановых месторождениях Забайкалья [2].

Рудопроявление скандия, ванадия, кобальта, никеля и цериевых редких земель вскрыто буровыми скважинами в центральной части Сюльдюкарского кимберлитового поля Ыгыаттинского района. Здесь по результатам штуфного опробования керна поисковых скважин на алмазы и рентген-флуоресцентных анализов, выполненных в аналитическом центре Вилуйской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО), выявлены рудные (более 100 ppm) концентрации Sc, V, Co, Ni, Ce, La, Pr и Nd (табл. 1). Они закартированы в захороненной линейной коре выветривания позднедевонско-каменноугольного возраста, развитой по Сюльдюкарским кимберлитам одноименного поля на глубинах до 50–60 м (рис. 4). Подобные перспективы RT описаны для зон гипергенеза карбонатов [13].

Концентрации скандия ассоциируют со скоплениями иттрия, церия, лантана, неодима, кобальта и никеля, которые превышают условно-промышленные минимальные содержания и представлены в таблице.

На севере Мало-Ботуобинского района в пределах поисковой на алмазы площади Бестях на глубинах 20–40 м в песчано-глинистых отложениях верхнепермской ахтарандинской свиты вскрыты пласты бурого угля. Они, как правило, сопровождаются углистыми алевролитами и аргиллитами и сложены в основном сапропелевым органическим веществом. Зачастую в них встречаются и остатки растений, и ингредиенты в виде витрина и редко кларена. Мощность пластов небольшая и составляет от десятков сантиметров до метра. Однако в одном из разрезов на юго-восточной окраине поисковой площади мощность черно-серого угля, залегающего на глубине 10,5–15,5 м, составила 5 м, что указывает на вероятное наличие приповерхностного месторождения бурого угля с пластами рабочей мощности.

На этой площади в основании силла долеритов триасовых траппов мощностью до 100 м

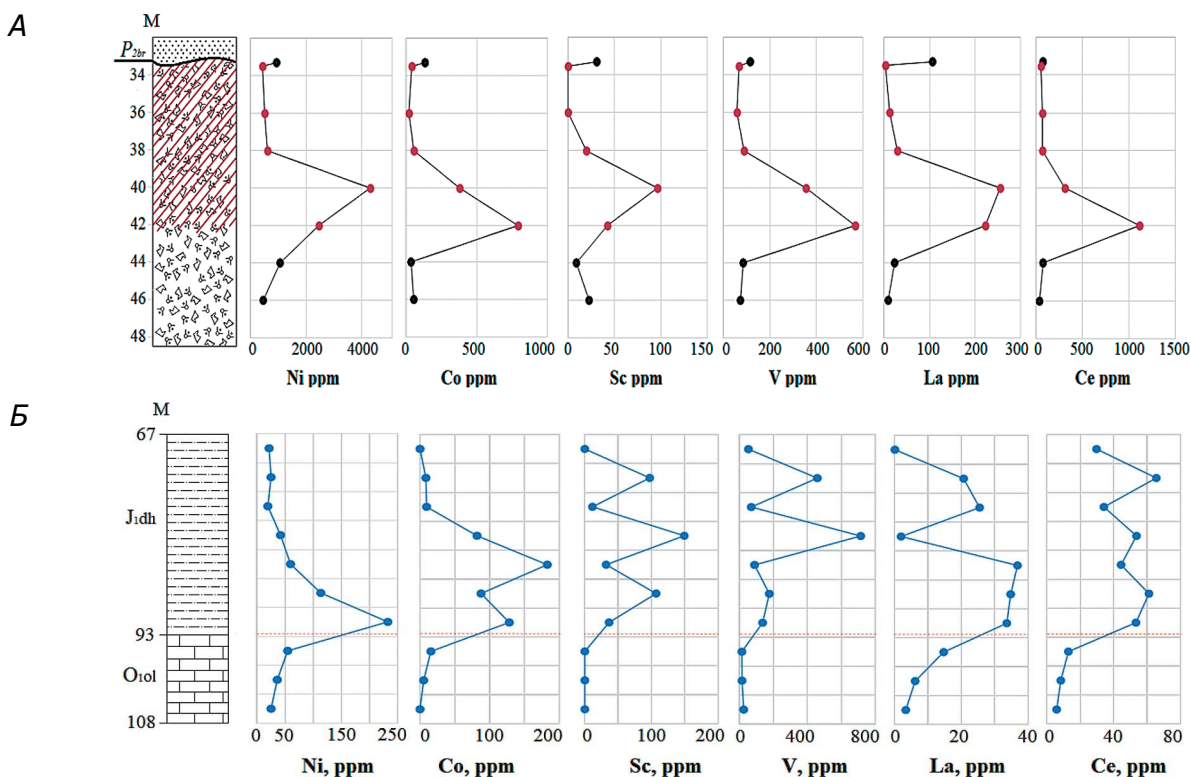


Рис. 4. Распределение Ni, Co, Sc, V, La и Ce: А — в породах древней коры выветривания (штриховка) по Сюльдюкарским кимберлитам в скв. 12-22; Б — на юго-западе Накынского поля в скважине 400/347
Fig. 4. Distribution of Ni, Co, Sc, V, La and Ce: А — in the rocks of the ancient weathering crust (hatching) by the Suldyukar kimberlites in borehole 12-22; Б — in the southwest of the Nakyn field in borehole 400/347

Таблица. Близкие к промышленным концентрации скандия и других элементов глинистых породах дяхтарской толщи Накынского поля

Table. Close to industrial concentrations of scandium and other elements in the clay rocks of the Dyakhtar strata of the Nakyn field

Элементы (условно-промышленное содержание в г/т)	Максимальные значения (г/т)	Кол-во проб выше условно-промышленного содержания элемента
Sc (100)	462,5	29
Y (500)	1365,8	15
Ce (1000)	2127,6	5
La (500)	1190,91	9
Nd (500)	3212,02	17
Co (1000)	3471,7	4
Ni (2000)	4753,1	4

в ксенолите углистых аргиллитов вскрыты 5 и 10 см интервалы графита. Он залегает в основании силла на глубине около 90 м. По-видимому, магматический расплав ассимилировал и переместил ксенолит угля и в результате термометаморфизма преобразовал его в графит. Учитывая протяженность на километры пластов углей и силлов траппов, можно ожидать месторождения графита типа Курейского.

На этой же площади в породах нижнего палеозоя заактивированы линейные и пятнистые проявления вторичных битумов, сопровождаемые ореолами прожилкового осветления в красноцветных породах холмолохской свиты верхнего кембрия. Битумы, как правило, черно-серого цвета матовые, но встречаются и блестящие типа оксикерита. Проявления битумов сопровождаются глубоко сорбированными углеводородными газами. Они выделяются при раскалывании породы с резким запахом свежего асфальта.

Надо отметить, что прожилковое осветление красноцветных пород, распространенное в алмазоносных районах Якутии и Архангельской области, маркирует разломы и отражает привнос углеводородных газов [6].

Детальное картирование вторичных битумов проведено на поисковой площади Бестях в Мало-Ботуобинском районе. Установлены узкие до нескольких сотен метров и протяженные до 2,5 км меридиональные ореолы (рис. 6). Они сопровождаются точечными проявлениями битумов, объединенными в дуговые ореолы. Линейная битуминизация локализована вдоль разломов, входящих в упомянутый дайковый пояс. Установленные битумы в верхнекембрийских

породах явно указывают на вероятные залежи нефти под региональным флюидопором пачки каменных солей нижнекембрийского возраста. В Мало-Ботуобинском районе пласты галита залегают на глубинах 500—600 м. С учетом этого выявленные ореолы битумов являются прямыми признаками залежей нефти в песчаных и трещинно-пластовых карбонатных коллекторах венд-нижнекембрийских горизонтов на глубине до 1,5—2 км. Что подтверждает перспективы открытия месторождений нефти в регионе [18].

В рассматриваемых алмазоносных районах в венд-кембрийской толще широко распространены древние захороненные рассолы, представляющие собой гидроминеральное сырье [3, 15]. Так, только в вендском водоносном комплексе в Вилюйско-Джербинской площади содержание в мг/дм³ выше минимально промышленных: брома (200) более чем в 2,5 раза (5297,1); стронция (500) более чем в 5 раз (2695,96); лития (10) более чем в 4,5 раза (48,5); цезия более чем в 5 раз (15,3). Плотность запасов только лития в гидроминеральном сырье разных водоносных горизонтов колеблется от 8 до 45,1 т/км², составляя в сумме 93,6 т/км² [3].

Выводы

Полученные материалы показывают перспективы обнаружения месторождений стратегически важных видов минерального сырья (медь, никель, кобальт, платиноиды, скандий, редкоземельные элементы, нефть и газ, уголь, графит, бром-стронций-литиевые рассолы) в Мало-Ботуобинском, Средне-Мархинском, Ыгыаттинском и других алмазоносных районах Якутии.

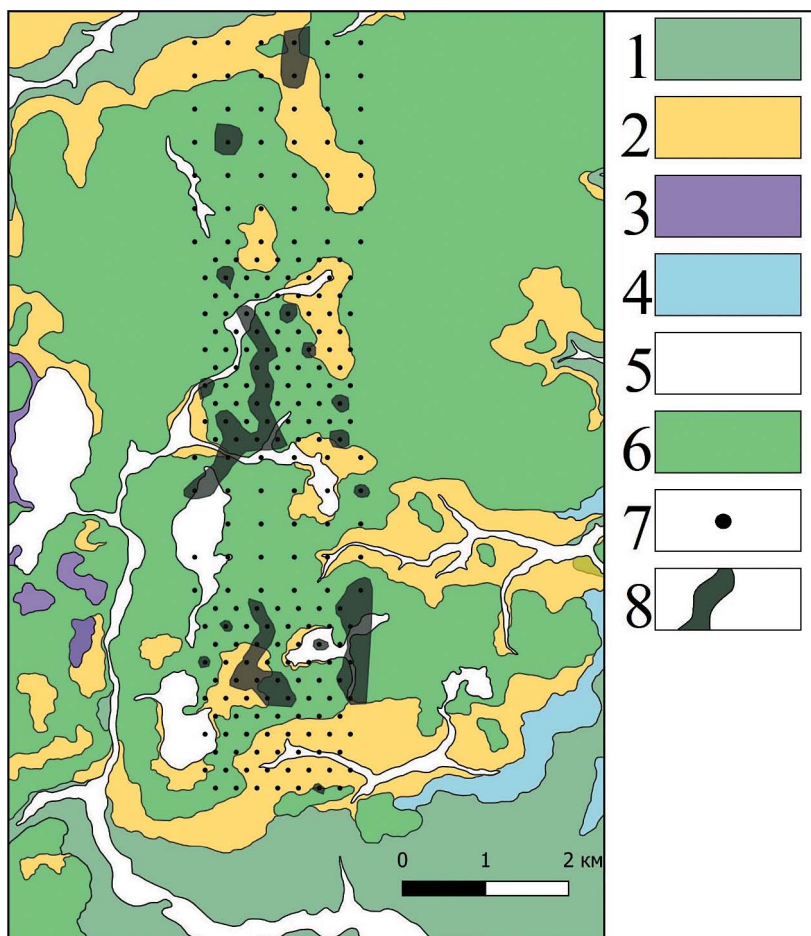


Рис. 5. Ореолы прожилково-вкрапленных битумов на площади Бестях Мало-Ботуобинского района: 1 — терригенно-карбонатные породы холомолохской свиты верхнего кембрия; 2 — песчаники боррулойской свиты средней перми; 3 — туфы чичиканской свиты нижнего триаса; 4 — песчаники оруктахской свиты нижней юры; 5 — аллювиальные четвертичные отложения; 6 — триасовые габбро-долериты; 7 — устье скважины; 8 — ореолы прожилково-вкрапленных битумов

Fig. 5. Halos of veined-interpersed bitumen on the area of Bestyakh Malo-Botuobinsky district: 1 — terrigenous-carbonate rocks of the Holomolokha formation of the Upper Cambrian; 2 — sandstones of the Borruloi formation of the Middle Permian; 3 — tuffs of the Chichikan formation of the Lower Triassic; 4 — sandstones of the Oruktakh formation of the Lower Jurassic; 5 — alluvial quaternary deposits; 6 — Triassic gabbro-dolerites; 7 — wellhead; 8 — halos of veined-interpersed bitumen

На северо-западе Мало-Ботуобинского района в пределах поисковой площади Улахан — Курунг — Юрях на небольшой глубине 30—70 м намечены перспективы скандиевой минерализации в зоне выклинивания древнего пластового окисления и в глинисто-железистом материале раннекаменноугольной коры выветривания. На севере этого района в пределах поисковой площади Бестях выделены локальные участки, где вероятны залежи нефти в подсолевых коллекторах венда-кембрия. Здесь также в угленосных песчаниках перми закартированы признаки выклинивания древней зоны пластового

окисления и совмещенные с ней признаки выклинивания пластово-трещинного окисления на контакте с битуминозными терригенно-карбонатными породами кембрия. С ними вероятны рудные концентрации скандия, ванадия и, возможно, рения. На этой площади вскрыт разрез бурых углей рабочей мощностью 5 м. Присутствует проявление графита в силлах триасовых траппов.

В Ыгыаттинском районе выделена перспективная площадь потенциального рудного поля медно-никелевых с платиноидами руд Норильского типа, локализованных в триасовым силле Холмолохской

интрузии. Оруденение ожидается в зоне намеченного и отчасти закартированного глубинного рудоконтролирующего нарушения как аналога Норильско-Хараелахского разлома на глубинах 100—150 м.

В центральной части этого района в линейной коре выветривания каменноугольного возраста, развитой по Сюльдюкарским кимберлитам, на глубине до 60 м имеется рудопроявление скандия, кобальта, никеля и церия. Что открывает большие перспективы обнаружения подобной минерализации во всей Западно-Якутской алмазонасной провинции.

В Средне-Мархинском районе в его центральной части в Накынском алмазонасном поле обнаружены перспективные рудопроявления скандия,

ванадия и цериевых редких земель в глинистом материале переотложенной коры выветривания триас-юрского возраста. Рудоносные зоны залегают на глубинах до 100 м. В дальнейшем такие месторождения можно будет осваивать эффективным способом сернокислотного подземного выщелачивания. Участки этих рудопроявлений находятся на флангах карьерных и в будущем шахтных полей интенсивно осваиваемых коренных месторождений алмазов трубок Ботуобинская и Нюрбинская и тела Майского. Это повышает их перспективность.

Важным промышленным потенциалом обладают подсолевые древние рассолы рассматриваемых районов, которые содержат ценное гидроминеральное сырье: бром, стронций и литий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев С.А., Соболев П.Н., Таффарель Е.С., Голованова М.П., Гарифуллин И.И. Нефтегазоносность Вилюйской синеклизы и перспективы поисков залежей углеводородов // Геология, физика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2018. № 12. С. 14—26.
2. Добыча урана подземным выщелачиванием в криолитозоне / Под ред. И.Н. Солодова. М.: ZetaPrint, 2022. 183 с.
3. Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Иркутск: Изд-во ИГТУ, 2008. 507 с.
4. Зинчук Н.Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1994. 240 с.
5. Игнатов П.А., Еременко Р.У., Толстов А.В., Овчинников И.М. Перспективы выявления месторождений скандия в Якутской алмазонасной провинции // Горный журнал. 2022. № 7. С. 12—21.
6. Игнатов П.А., Зарипов Н.Р., Ковальчук О.Е. Индикаторные свойства прожилкового осветления красноцветных отложений при прогнозировании и поисках кимберлитов: методическое пособие. Мирный: АПРОСА, 2022. — 155 с., ил. URL: eLIBRARY: 48548116
7. Игнатов П.А., Зарипов Н.Р., Новиков К.В., Толстов А.В. Складки волочения в осадочных породах, вмещающих кимберлиты Западной Якутии // Руды и металлы. 2021. № 3. 83—92. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2021-10020>
8. Игнатов П.А., Новиков К.В. Полевая диагностика тектонических нарушений и флюидоразрывных образований в кимберлитовмещающих отложениях нижнего палеозоя: методическое руководство. Мирный, 2019. 76 с. ISBN 978-5-6041056-1-0
9. Игнатов П.А., Толстов А.В., Проценко Е.В., Колесник А.Ю., Мальцев М.В. Вилюй-Мархинское междуречье Якутии — перспективный район на Cu-Ni с платиноидами оруденение // Отечественная геология. 2021. № 5. С. 51—64.
10. Коноплев А.Д., Толстов А.В., Васильев А.Т., Нечелюстов Г.Н., Кузьмин В.И., Скляднева В.М. и др. Особенности локализации редкометалльного оруденения на месторождении Томтор // Редкометалльно-урановое рудообразование в осадочных породах: сб. науч. трудов. М., 1995. С. 223—241.
11. Коробков И.Г. Тектоника, палеогеография и базитовый магматизм алмазонасных районов восточного борта Тунгусской синеклизы. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2015. 353 с.
12. Костровицкий С.И., Специс 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 акад. Н.П. Похиленко. НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО). Мирный: ООО «МГТ», 2015. 480 с.
13. Лапин А.В., Толстов А.В. Окислительный и восстановительный этапы формирования зоны гипергенеза карбонатитов и их рудоносность // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 4. С. 81—91.
14. Мальцев М.В. Критерии локализации и вещественно-индикационные признаки Сюльдюкарского кимберлитового тела как основа прогнозирования месторождений алмазов в Ыгьяттинском районе (Западная Якутия): автореф. ... канд. дис. Мирный, 2019.
15. Михеева Е.Д., Егоров Я.А. К вопросу о содержаниях лития и попутных компонентах в подземных водах перспективных территорий России // Науки о Земле: добыча и переработка. Апрель 2022, С. 29—35.
16. Проценко Е.В. Структурно-тектонические закономерности локализации разноранговых кимберлитовых таксонов в пределах Вилюйско-Мархинской

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

минерагенической зоны (Западная Якутия): автореф. ... канд. дис. Мирный, 2020.

17. Толстов А.В. Коноплев А.Л., Кузьмин В.И. Особенности формирования уникального редко-металльного месторождения Томтор и оценка перспектив его освоения // Разведка и охрана недр. 2011. № 6. С. 20—26.
18. Фролов С.В. Карнышова Е.Е., Коробова Н.И., Бакай Е.А., Курдина Н.С., Крылов О.В., Тарасенко А.А. Особенности строения, осадочные комплексы и углеводородные системы Лено-Вилуйского нефтегазоносного бассейна // Георесурсы. 2019. Т. 21. № 2. С. 13—30.
19. Okrugin A.V., Yakubovich O.V. Ernst R.E., Druzhini-na Zh.Yu. Platinum-bearing placers: mineral associations and their 190Pt-4He and re-os ages, and potential links with large igneous provinces in the Siberian craton // Society of Economic Geologists Inc. Economic Geology. 2020. Vol. 115, no. 8. P. 1835—1853.

REFERENCES

1. Vasiliev S.A., Sobolev P.N., Taffarel E.S., Golovanova M.P., Garifullin I.I. Oil and gas potential of the Vilyuisk syncline and prospects for the search for hydrocarbon deposits // Geology, physics and development of oil and gas fields. 2018. No. 12. P. 14—26 (In Russian).
2. Uranium mining by underground leaching in the cryolithozone / Edited by I.N. Solodov. Moscow: ZetaPrint, 2022. 183 p. (In Russian).
3. Drozdov A.V., Iost N.A., Lobanov V.V. Cryohydrogeology of diamond deposits in Western Yakutia. Irkutsk: IGTV Publishing House, 2008. 507 p. (In Russian).
4. Zinchuk N.N. Weathering crusts and secondary changes of kimberlites of the Siberian platform. Novosibirsk: NSU publishing house, 1994. 240 p. (In Russian).
5. Ignatov P.A., Eremenko R.U., Tolstov A.V., Ovchinnikov I.M. Prospects for detecting scandium deposits in the Yakut diamond province // Mining Journal. 2022. No. 7. P. 12—21 (In Russian).
6. Ignatov P.A., Zaripov N.R., Kovalchuk O.E. Indicator properties of veined lightening of red-colored deposits in forecasting and searching for kimberlites: methodical manual. Mirny: ALROSA, 2022. 155 p.: ill. (In Russian). Link eLibrary: 48548116
7. Ignatov P. A., Zaripov N. R., Novikov K. V., Tolstov A.V. Drawing folds in sedimentary rocks containing kimberlites of Western Yakutia // Ores and metals. 2021. No. 3. P. 83—92 (In Russian). <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2021-10020>
8. Ignatov P.A., Novikov K.V. Field diagnostics of tectonic disturbances and fluid-fracturing formations in kimberlite-containing sediments of the Lower Paleozoic: Methodological guidance. Mirny, 2019. 76 p. (In Russian). ISBN 978-5-6041056-1-0
9. Ignatov P.A., Tolstov A.V., Protsenko E.V., Kolesnik A.Yu., Maltsev M.V. Vilyu-Markhinskoe interfluvium of Yakutia — a promising area on Cu-Ni with platinum mineralization // Domestic Geology. 2021. No. 5. P. 51—64 (In Russian).
10. Konoplev A.D., Tolstov A.V., Vasiliev A.T., Nechelyustov G.N., Kuzmin V.I., Sklyadneva V.M., et al. Features of localization of rare-metal mineralization at the Tomtor deposit // Rare-metal-uranium ore formation in sedimentary rocks. Collection of scientific works. Moscow, 1995. P. 223—241 (In Russian).
11. Korobkov I.G. Tectonics, paleogeography and basite magmatism of diamond-bearing areas of the eastern side of the Tunguska syncline. Irkutsk: IZK SB RAS. 2015. 353 p. (In Russian).
12. Kostrovitsky S.I., Spezius Z.V., Yakovlev D.A., Von der Flaas G.S., Suvorova L.F., Bogush I.N. Atlas of the indigenous diamond deposits of the Yakut kimberlite province / Editor-in-chief ak. N.P. Pokhilenko. NIGP AK "ALROSA" (PAO). Mirny: MGT LLC, 2015. 480 p. (In Russian).
13. Lapin A.V., Tolstov A.V. Oxidative and reducing stages of the formation of the hypergenesis zone of carbonates and their ore content // Geology of ore deposits. 1991. Vol. 33. No. 4. P. 81—91 (In Russian).
14. Maltsev M.V. Localization criteria and material-indicative signs of the Syuldyukar kimberlite body as a basis for forecasting diamond deposits in the Ygyattinsky district (Western Yakutia): Abstract. cand. dis. Mirny, 2019 (In Russian).
15. Mikheeva Ed., Egorov Ya.A. On the question of lithium content and associated components in the groundwater of promising territories of Russia // Earth Sciences: mining and processing. April 2022. P. 29—35 (In Russian).
16. Protsenko E.V. Structural and tectonic patterns of localization of different-rank kimberlite taxa within the Vilyuisk-Markhinskaya mineragenic zone (Western Yakutia): Abstract cand. dis. Mirny, 2020 (In Russian).
17. Tolstov A.V. Konoplev A.L., Kuzmin V.I. Features of the formation of the unique rare metal deposit Tomtor and assessment of prospects for its development // Exploration and protection of mineral resources. 2011. No. 6. P. 20—26 (In Russian).
18. Frolov S.V., Karnyushina E.E., Korobova N.I., Bakay E.A., Kurдина N.S., Krylov O.V., Tarasenko A.A. Structural features, sedimentary complexes and hydrocarbon systems of the Leno-Vilyui oil and gas basin // Geo-resources. 2019. Vol. 21. No. 2. P. 13—30 (In Russian).
19. Okrugin A.V., Yakubovich O.V. Ernst R.E., Druzhini-na Zh.Yu. Platinum-bearing placers: mineral associations and their 190Pt-4He and re-os ages, and potential links with large igneous provinces in the Siberian craton // Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology. 2020. Vol. 115, no. 8. P. 1835—1853.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Игнатов П.А. — подготовил текст статьи, провел сбор, обработку и анализ геологических и анализ геохимических данных, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Еременко Р.У. — ведёт цифровую базу данных алмазоносных районов Западной Якутии, обработал статистические данные РФА-анализов, создал часть графики для статьи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Толстов А.В. — описал редкометалльные проявления связанные с щелочно-ультраосновными карбонатитовыми комплексами на примере месторождения Томтор, редактировал текст статьи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Овчинников И.М. — предоставил данные РФА и поспособствовал получению разрешения на публикацию материалов, редактировал текст статьи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Petr A. Ignatov — prepared the text of the article, collected, processed and analyzed geological and geochemical data, approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Ruslan U. Eremenko — maintains a digital database of diamondiferous regions of Western Yakutia, processed statistical data from XRF analyses, created part of the graphics for the article, approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Alexander V. Tolstov — described rare metal manifestations associated with alkaline-ultrabasic carbonatite complexes using the example of the Tomtor deposit, edited the text of the article, approved the published version of the article and agreed to accept responsibility for all aspects of the work.

Ilya M. Ovchinnikov — provided XRF data and contributed to obtaining permission to publish materials, edited the text of the article, approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Игнатов Петр Алексеевич* — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: ignatovpa@mgri.ru
тел.: +7 (495) 461-37-77
SPIN-код: 7893-1477
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Еременко Руслан Умарович — аспирант, инженер-исследователь кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: eremenko-ruslan@mail.ru
тел.: +7 (916) 017-36-29
SPIN-код: 3885-1807
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1997-8723>

Petr A. Ignatov* — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor, Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: ignatovpa@mgri.ru
tel.: +7 (495) 461-37-77
SPIN-code: 7893-1477
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Ruslan U. Eremenko — post-graduate researcher, research engineer at the Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: eremenko-ruslan@mail.ru
tel.: +7 (916) 017-36-29
SPIN-code: 3885-1807
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1997-8723>

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

Толстов Александр Васильевич — доктор геолого-минералогических наук, Ведущий научный сотрудник ИГАБМ СО РАН.

39, пр. Ленина, Якутск, Республика Саха (Якутия)

e-mail: tols61@mail.ru

тел.: +7 (914) 252-86-12

SPIN-код: 7895-6601

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6057-5987>

Alexander V. Tolstov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher at Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences.

39, Lenin Ave., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia)

e-mail: tols61@mail.ru

tel.: +7 (914) 252-86-12

SPIN-code: 7895-6601

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6057-5987>

Овчинников Илья Михайлович — эксперт Управления планирования производства АК «АЛРОСА» (ПАО)/

6, ул. Ленина, г. Мирный, Республика Саха (Якутия)

e-mail: OvchinnikovIM@alrosa.ru

тел.: +7 (924) 162-59-32

SPIN-код: 1014-6140

AuthorID: 11356007

Ilya M. Ovchinnikov — Expert of the Production Planning Department of AK ALROSA (PJSC).

6, st. Lenin, Mirny, Republic of Sakha (Yakutia)

e-mail: OvchinnikovIM@alrosa.ru

tel.: +7 (924) 162-59-32

SPIN-code: 1014-6140

AuthorID: 11356007

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author