

Научная статья

УДК 552.321.1/.4:553.43'411(470)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_165-179

**Ключевые слова:** алмаз, минералы-индикаторы кимберлитов, кимберлитовое поле, Анабарский кристаллический массив, северо-восток Сибирской платформы

**Для цитирования:** Бураков Б. Е., Голобурдина М. Н., Граханов С. А. Перспективы коренной алмазоносности Анабарского массива // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 165–179. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_165-179](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_165-179)

Original article

UDC 552.321.1/.4:553.43'411(470)

doi:10.52349/0869-7892\_2024\_100\_165-179

**Keywords:** diamond, kimberlite indicator minerals, kimberlite field, Anabar crystalline massif, northeastern Siberian platform

**For citation:** Burakov B. E., Goloburdina M. N., Grakhanov S. A. Prospects for primary diamond potential of the Anabar Massif. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 165–179. [https://doi.org/10.52349/0869-7892\\_2024\\_100\\_165-179](https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_165-179)



© Б. Е. Бураков, М. Н. Голобурдина, С. А. Граханов, 2024

## Перспективы коренной алмазоносности Анабарского массива

Б. Е. Бураков<sup>1</sup>, М. Н. Голобурдина<sup>1</sup>✉, С. А. Граханов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия, Marina\_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru ✉

<sup>2</sup>АЛМАР — алмазы Арктики, Якутск, Россия

**Аннотация.** Впервые изучены типоморфные особенности пикроильменитов, пиропов и шпинелидов из аллювия верховья руч. Лёгкий, правого притока р. Налим-Рассоха. Подтверждено обоснование красноярских геологов (1984 г.) на локализацию нового кимберлитового поля на Анабарском массиве, в бассейне рек Налим-Рассоха и Улахан-Старая. Показаны характерные поверхности ассоциации минералов, подтверждающие их принадлежность к первичному ореолу минералов-индикаторов кимберлитов. Установлены пикроильмениты, сопоставимые по составу с включениями в алмазах и алмазоносных перидотитов, отсутствующие в аллювии рек Большая Куонамка и Баргыдамалаах, дренирующих неалмазоносные кимберлитовые поля. Количественное соотношение пиропов лерцолитового (86 %) и дунит-гарцбургитового (11 %) парагенезисов типично для кимберлитов. Шпинелиды происходят из глубинных ультрамафитовых пород и основной массы кимберлитов. Прогнозируется обнаружение нового Рассохинского алмазоносного кимберлитового поля на Анабарском массиве, в бассейне рек Налим-Рассоха и Улахан-Старая.

## Prospects for primary diamond potential of the Anabar Massif

B. E. Burakov<sup>1</sup>, M. N. Goloburdina<sup>1</sup> ✉, S. A. Grakhanov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia, Marina\_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru ✉

<sup>2</sup>ALMAR — diamonds of the Arctic, Yakutsk, Russia

**Abstract.** There is a novel study of typomorphic features of picroilmenites, pyropes, and spinelides from the alluvium of the Legkiy Creek's upper reaches, the right tributary of the Nalim-Rassokha River. Presence of a new kimberlite field in the Anabar Massif, in the basin of the Nalim-Rassokha and Ulakhan-Staraya rivers, confirms Krasnoyarsk geologists' arguments (1984). Characteristic surfaces of mineral associations prove to pertain to the primary halo of kimberlite indicator minerals. Picroilmenites comparable to inclusions in diamonds and diamond-bearing peridotites are absent in the alluvium of the Bolshaya Kuonamka and Bargydamalaakh rivers draining non-diamond-bearing kimberlite fields. The quantitative ratio of pyropes of lherzolite (86 %) and dunite-harzburgite (11 %) parageneses is typical of kimberlites. The spinelides association originates from deep ultramafic rocks and the groundmass of kimberlites. There are grounds for discovering a new Rassokha diamond-bearing kimberlite field in the Anabar Massif, in the basin of the Nalim-Rassokha and Ulakhan-Staraya rivers.

## ВВЕДЕНИЕ

На Анабарском кристаллическом массиве известно с десятков россыпных проявлений и два крупных россыпных месторождения алмазов, которые активно обрабатываются. Но ни проявления, ни месторождения россыпных алмазов не привязаны к коренным источникам, хотя в нижнем течении р. Большая Куонамка открыто более 100 кимберлитовых тел, в том числе около 10 убогоалмазоносных трубок и даек Старореченского и Ары-Мастахского полей триасового и юрского возрастов [1]. В настоящее время есть несколько точек зрения на формирование россыпи р. Большая Куонамка. Наиболее распространено мнение, что россыпь была сформирована за счет размыва многочисленных слабоалмазоносных тел, указанных выше полей<sup>1-4</sup>. По расчетам С. А. Прокопьева, из глубоко эродированных (не менее 1000 м) многочисленных убогоалмазоносных кимберлитовых тел Куонамской кимберлитоконтролирующей зоны было освобождено не менее 100 млн каратов алмазов, из которых в бассейнах рек Большая Куонамка и Малая Куонамка сохранилось около 10 млн каратов. Остальные алмазы были вынесены за их пределы и сформировали россыпи Эбеляхской алмазоносной площади. Не вдаваясь в дискуссионность расчетов глубины мезозойского эрозионного среза и подсчета высвободившихся алмазов, следует заметить, что алмазы из кимберлитовых тел и россыпей различаются. Во всех кимберлитовых телах Куонамской минерагенической зоны, как и во всех кимберлитах Сибирской провинции, преобладают ламинарные кристаллы, доля округлых алмазов невелика, а камни V и VII разновидностей (эбеляхский тип) отсутствуют [2] (табл. 1). В россыпях же доминируют округлые камни, включая камни V+VII разновидностей, а доля ламинарных индивидов мала. Кроме того, алмазы всех типов россыпи р. Большая Куонамка сортированы, выделяются высоким средним весом и сильно изношены, что противоречит их поступлению из коренного источника (табл. 2).

Ряд ученых [5] считают, что возраст куонамских алмазов докембрийский. Основанием для этого послужили фиксация на ряде кристаллов пятен пигментации, характерных для алмазов докембрийского возраста, и находки пиропов в лабазстахской (мукунской) свите.

В. П. Афанасьев [6] докембрийским возрастом датирует только алмазы V-VII разновидностей, коренные источники которых, по его мнению, тяготеют к выходам древних кристаллических пород. Фактически это не совсем так. Например, в аллювии р. Большая Куонамка доля алмазов эбеляхского типа как раз невелика — 8,8% (табл. 1) по сравнению с россыпями, которые расположены в полях развития палеозойских пород и удалены от древних массивов на сотни километров: Ыраас-Юрях — 57%; Холомолоох — 54%; Чомурдах — 30%; Укукит — 30%; Моторчуна — 25% [7]. В дальнейшем, по включению рутила в алмазы V-VII разновидностей из промышленных россыпей бассейна р. Эбелях, сам автор докембрийской гипотезы [8] установил палеозойский возраст кристаллов.

У нас сложилось иное мнение: россыпи Анабарского массива формировались за счет размыва древних промежуточных коллекторов [3] и частично за счет прогнозируемых кимберлитов в центральной части щита [4]. В пользу этого свидетельствуют следующие факты: россыпные проявления алмазов в аллювии р. Большая Куонамка, которая с притоками дренирует весь массив, пространственно совпадают с площадями выходов на уровне современного среза гравелитов рифейской юस्ताхской и вендской старореченской свит; с признаками древности на части кристаллов [5]; повышенной крупностью, хорошей сортированностью и сильным износом камней (табл. 2). В нижнем течении р. Большая Куонамка значительную роль играли более молодые коллекторы алмазов мезозойского и кайнозойского возрастов, что отразилось на значительном привносе кристаллов эбеляхского типа. Различие типоморфных особенностей алмазов обусловлено сложной геологической историей формирования россыпи в результате многократной перестройки гидросети [3].

Что же говорит за наличие коренных источников в центральной части Анабарского массива? Еще в 1960-х годах геологом Куонамской партии Амакинской экспедиции<sup>3</sup> было отмечено, что в среднем течении р. Большая Куонамка на кристаллах алмазов не фиксируются следы механического износа, и средний вес камней резко падает. Позднее, в 1980-е годы в среднем и верхнем течениях р. Большая Куонамка минерагеническое картирование масштаба 1 : 200 000 выполняло научно-производственное объединение «Аэрогеология» (Л. И. Шахотько, В. А. Истомин). При заверке космофотоаномалий в районе устьев рек Хардах, Хатырык и Сербя были открыты кимберлитовые тела. Кимберлитовые тела были датированы (по U-Pb): дайка Дюймочка 2 — 229 млн лет, дайка Хатырык 3 — 224 млн лет [9]; трубка Сербяен (по Rb-Sr) — 224 млн лет [10]. Следует отметить, что триасовый возраст кимберлитов значительно повышает шанс открытия потенциально-промышленных коренных месторождений, т. к. расположенная в относительной близости трубка Малокуонамская имеет аналогичный возраст и при средней продуктивности содержит спектр высоко-сортных алмазов.

В 1986 г. Амакинская экспедиция в среднем течении р. Большая Куонамка выполняла тематические работы (С. А. Граханов), которые сопровождались

<sup>1</sup> Результаты поисковых работ в бассейне р. Старая и верховьях р. Попигай. Отчет о работах партии № 11, 14 Анабарской экспедиции в 1959 г. / Е. И. Подкопаев [и др.]. Л. : НИИГА, 1960.

<sup>2</sup> Отчет о результатах поисковых работ на алмазы в бассейне нижнего и среднего течения р. Большая Куонамка за 1964 г. / Е. Д. Черный [и др.]. Нюрба : Амакинская ГРЭ, 1965.

<sup>3</sup> Отчет о результатах поисковых работ на алмазы в бассейне нижнего и среднего течений рек Большая и Малая Куонамка за 1963–1967 гг. / А. И. Крючков [и др.]. Нюрба : Амакинская ГРЭ, 1968.

<sup>4</sup> Отчет о результатах поисков коренных месторождений алмазов на северо-восточном склоне Анабарского щита (бассейн реки Большая Куонамка) в 1995–2001 гг. / С. А. Прокопьев. Айхал : Амакинская ГРЭ, 2001.

**Типоморфные особенности алмазов из кимберлитов, россыпи р. Большая Куонамка и сопредельной россыпи р. Эбелях**

Table 1. Typomorphic features of diamonds from kimberlites, the Bolshaya Kuonamka River placer, and the Ebelyakh River adjoining placer

Наименование объектов	Разновидности алмазов [9], %										
	I					II	III	IV	V+VII		VIII
	ламинарные	округлые			сумма I разновидности				эбеляхский тип		
		уральского типа	жильного типа	сумма							
<b>Кимберлитовые поля, трубки</b>											
Дюкенское поле, T <sub>3</sub>	52,4	7,8	3,9	11,7	89,3	0,0	1,0	4,8	0,0	4,8	
Куранахское поле, тр. Малокуонамская, T <sub>3</sub>	64,0	4,8	9,6	14,4	97,6	2,0	0,0	0,0	0,0	0,4	
<b>Четвертичные россыпи</b>											
Река Большая Куонамка	13,8	35,8	23,2	59,0	78,4	11,1	0,4	1,3	8,8	0,0	
Река Эбелях, Q <sub>н</sub>	14,1	16,2	20,3	36,5	62,9	3,6	0,2	0,5	30,9	0,2	

Источник: составлено С. А. Грахановым [3] по материалам В. И. Коптиля и Б. С. Помазанского (Амакинская экспедиция и НИГП АК «АЛРОСА»)

Source: adapted by S. A. Grakhanov [3] from V. I. Koptil and B. S. Pomazanskiy's data (Amakin expedition and the ALROSA's Research Geological Enterprise)

**Механический износ алмазов из россыпей бассейна р. Большая Куонамка**

Table 2. Mechanical wear of diamonds from placers of the Bolshaya Kuonamka River basin

Наименование россыпи	Всего изучено алмазов	Типы первоисточников [9] и износ [5] всего алмазов, шт/износ (%)			
		ламинарный	уральский	жильный	эбеляхский
Левые притоки Большой Куонамки	201	42/16,7	48/10,4	37/24,3	31/47,0
Большая Куонамка	579	130/21,5	228/10,1	108/12,0	46/28,3
Правые притоки Большой Куонамки	380	113/23,0	99/14,1	71/16,9	35/37,1

Источник: составлено С. А. Грахановым на основе [2; 4] по материалам аналитика В. И. Коптиля (Амакинская экспедиция)

Source: adapted by S. A. Grakhanov from [2; 4], including the analyst V. I. Koptil's data (Amakin expedition)

специализированным опробованием на алмазы. Хотя кимберлитовые тела еще не были открыты, но точки космофотоаномалий НПО «Аэрогеология» (Л. И. Шахотько) были известны, поэтому на реках Сербьян и Оюр-Юрях было отобрано около 20 шлихов и две мелкообъемные пробы. В обеих пробах были найдены алмазы без каких-либо следов механического износа. На р. Сербьян найдено два алмаза весом 44,9 мг и на р. Оюр-Юрях — один алмаз весом 1,3 мг (алмазы находятся в коллекции ПАО «АЛРОСА»). Данные находки алмазов оторваны от последних находок алмазов в аллювии р. Большая Куонамка более чем на 100 км и, по существу, ограничивают ее алмазоносность на западе. Было

установлено, что по своему химическому составу пикроильменит из аллювия р. Сербьян резко отличался высокой хромистостью от своих аналогов из неалмазоносных юрских трубок Прианабарья.

Приблизительно в эти же годы красноярскими геологами<sup>1</sup> в северной части Анабарского массива был выявлен яркий ореол минералов-индикаторов

<sup>1</sup> Куликов Ю. П. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна реки Налим-Рассоха. Отчет по групповой геологической съемке масштаба 1 : 50 000 в северной части Анабара, в пределах Билляхской зоны. ПГО «Красноярскгеология», ГСЭ. Красноярск, 1984.

кимберлитов (далее — МИК) в бассейне р. Налим-Рассоха при проведении Красноярскгеологией геологической съемки масштаба 1 : 50 000 в 1984 г. Наиболее контрастная аномалия МИК (пикроильменит, пироп, хромдиоксид) была приурочена к верховью руч. Лёгкий, она свидетельствует о наличии в непосредственной близости продуктивных кимберлитовых тел, на что указывает присутствие пиропов алмазной ассоциации. По их данным было установлено, что кимберлитовые минералы представлены пиропом, микроильменитом, магнезиальным оливином, хромдиоксидом и перовскитом. Наличие пиропы отмечается от единичных до первых десятков знаков, он имеет лиловые оттенки, встречен в виде изометричных округлых зерен и осколков размерами 0,5–1,0 мм; у многих зерен зафиксирована первичная матированная поверхность. Пикроильменит наблюдается преимущественно в первых десятках знаков до 1 % с характерным MgO 5,83–8,68 %. Магнезиальный оливин встречен в единичных знаках и до 5 % в отдельных пробах. Хромдиоксид распространен от редких знаков до первых десятков, имеет низкотитанистый ( $TiO_2$  0,03–0,06 %) и низкоглиноземистый ( $Al_2O_3$  1,69–2,91 %) состав с разным содержанием хрома ( $Cr_2O_3$  1,44–3,39 %). Перовскит обнаружен в единичных зернах и десятках знаков до 3 %.

По приведенной информации можно сделать следующие выводы. В центральной части Анабарского массива открыто новое Среднекуонамское кимберлитовое поле триасового возраста, которое не приурочено к Куонамской минерагенической зоне, где установлены преимущественно юрские неалмазоносные трубки (рис. 1). Севернее прогнозируется новое кимберлитовое поле в бассейне рек Налим-Рассоха и Улахан-Старая — Рассохинское.

Следует подчеркнуть, что по структурно-тектоническому критерию вся центральная часть Анабарского массива благоприятна для проявления продуктивного кимберлитового вулканизма, так как находится в пределах стабильного древнего блока фундамента — Далдынского террейна — 3,1 млрд лет [11] с мощной литосферой («правило Клиффорда») [12; 13] (рис. 1).

Для подтверждения перспектив Анабарского массива на коренную алмазоносность в 2022–2024 гг. геологами Института Карпинского были проведены аэрогеофизические работы и шлиховое опробование бассейна р. Налим-Рассоха в этап оценки изученности (Попигайская площадь, R-49-III,IV;IX,X) и дополнительные исследования щелочно-ультраосновных пород Среднекуонамского поля при ГДП-200 (Сергеевская площадь, R-49-XXI,XXII; Куонамская площадь, R-49-XXIII,XXIV).

В бассейне р. Налим-Рассоха в верховьях руч. Лёгкий было подтверждено наличие контрастного ореола МИК, который тяготеет к геофизической аномалии. Данная статья посвящена изучению типоморфных особенностей кимберлитовых минералов данного ореола.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шлиховая проба № 10512 объемом около 100 л была отобрана в верховьях руч. Лёгкий (рис. 2 и 3).

Отбор пробы производился с глубины 0,2–0,3 м, где были опробованы голубовато-серые глины с обломками кристаллических пород. Промывка проводилась деревянным лотком «сибирского» типа после предварительного отмучивания исходного материала. Выход шлиха составил более 1,1 кг, из которых примерно 1/3 пришлось на общую долю магнитной (120 г) и немагнитной фракций (240 г), а основной вес и объем соответствовал электромагнитной фракции, представленной в основном ильменитом и альмандином.

Предварительная диагностика шлиховых минералов проводилась визуально с помощью бинокулярных микроскопов МБС-10 и Микромед МС-1 при разных источниках света — как светодиодных, так и от лампы накаливания. Фотографии зерен получены при обычном освещении, а также в режиме обратно-рассеянных электронов на сканирующем электронном микроскопе-анализаторе VEGA3 TESCAN. На этом же приборе проводился количественный рентгеноспектральный микроанализ химического состава минералов с последующим пересчетом результатов на окислы и нормированием к 100 %. Рентгенодифракционный анализ оторочек на поверхности зерен ильменита проводился на дифрактометре RAXIS Rapid II (CoKa-излучение, 40 кВ, 15 мА, экспозиция 10 мин).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Район исследования расположен в северной части Анабарского кристаллического массива на междуречьях Налим-Рассоха и Улахан-Старая, где развиты мигматизированные кристаллические породы архея и раннего протерозоя, слагающие субмеридиональные складки, нарушенные раннетриасовыми дайками долеритов. Верховья притоков рек Налим-Рассоха и Улахан-Старая заболочены и перекрыты чехлом делювиально-солифлюкционных образований, состоящих из суглинков с обломками местных ультраметаморфических пироксеновых и двупироксеновых плагиогнейсов. Низовья ручьев и долины рек покрыты развалами глыб кристаллических пород.

В крупнообъемной шлиховой пробе (№ 10512) были выявлены и проанализированы основные МИК: микроильменит, пироп и хромшпинелид. Следует отметить необычно высокое содержание микроильменита (8686 знаков) с превалированием в мелком классе крупности ( $-0,5 + 0,25$  мм = 67,8 %;  $-1 + 0,5$  мм = 27,5 %;  $-2 + 1$  мм = 4,1 %;  $+2$  мм = 0,6 %). Механический износ поверхности зерен минимален: 0 класс = 0,4 %, I класс = 24,5 %, II класс = 73,1 % и III класс = 2 %. К примеру, в пробе 10002 в низовьях руч. Лёгкий (рис. 4) в 4 км ниже пробы 1512 концентрации микроильменита практически на порядок ниже и существенно возрастает степень механического износа зерен, нулевой и первый классы отсутствуют, а второй составляет 71,1 % и третий — 28,6 %, что свидетельствует о том, что жесткий кристаллический плотик ручья способствует быстрому износу зерен. Во фракции  $+1,0$  мм фактически весь ильменит был представлен его магнезиальной разновидностью,

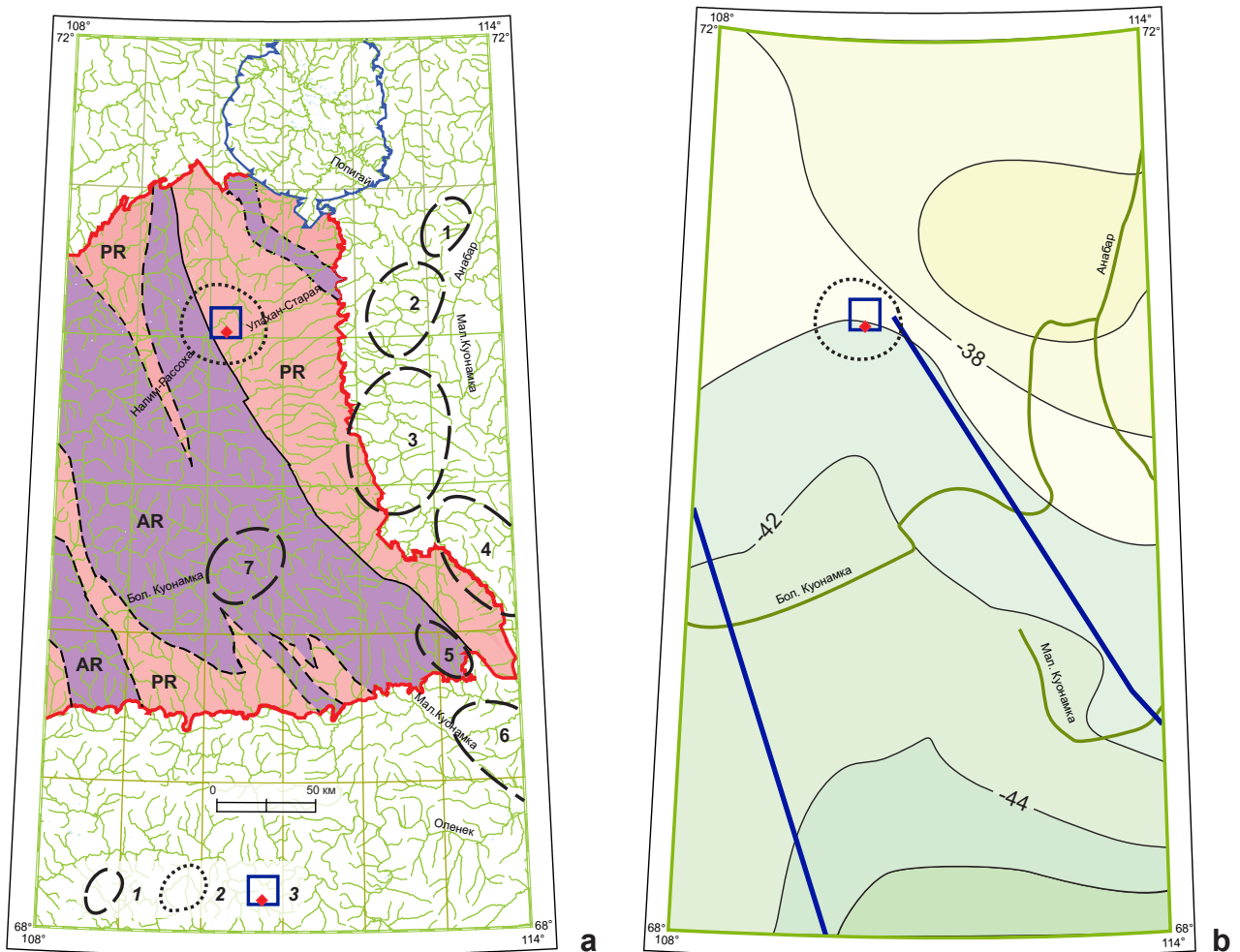
в то время как в основной фракции шлиха –0,5 мм соотношение пикроильменита и ильменита составило ориентировочно (2–4) к (98–96) соответственно. Ниже представлены основные типоморфные особенности исследованных минералов.

**Пикроильменит.** Многочисленные зерна пикроильменита присутствуют в виде обломков с блестящей поверхностью (рис. 5, а), округлых и овальных зерен с шероховатой поверхностью, в основном осложненной мелкоячеистым строением (рис. 5, b–d). Реже встречаются зерна с хорошо выраженным микропирамидальным рельефом (рис. 5, e) и оторочками перовскита (рис. 6). Морфологические особенности зерен пикроильменитов и наличие реакционных кайм перовскита характеризуют сохранившийся первичный рельеф, формирующийся при

взаимодействии с кимберлитовым расплавом, что свидетельствует об отсутствии их механического износа [14].

Исследованные пикроильмениты обладают широкими вариациями химического состава (табл. 3) и условно относятся к средне-, низко- и бесхромистому пикроильменитам. По соотношениям  $MgO-Cr_2O_3$ ,  $MgO-TiO_2$  (рис. 7) и по распределению минералов ильменит  $FeTiO_3$  — гейкелит  $MgTiO_3$  — гематит  $Fe_2O_3$  они сопоставимы с пикроильменитами из кимберлитов (рис. 8, а).

Среднехромистые пикроильмениты преимущественно имеют сравнительно малые концентрации гематитового минерала ( $Cr_2O_3$  2,3–4,0;  $MgO$  10,93–14,8%;  $Fe_2O_3$ (минерал) 0,2–6,5, редко 8,9–12,0) и содержат примесь  $MnO$  (0–1%), их составы соответствуют



**Рис. 1. Положение объекта исследования. а — схема Анабарского алмазоносного района, б — рельеф поверхности Мохоровичича в Анабарском районе по данным геофизического сейсмозондирования с границей глубинных зон (синий контур)**

1 — кимберлитовые и карбонатитовые поля: Орто-Вяргинское (1), Старореченское (2), Ары-Мастахское (3), Дюкенское (4), Биригиндинское (5), Куранахское (6), Среднекуонамское (7); 2 — прогнозируемое Рассохинское кимберлитовое поле; 3 — участок исследований

Источник: по [13]

**Fig. 1. Location of the research object. а — diagram of the Anabar diamond-bearing region, б — Moho surface relief in Anabar region according to the geophysical seismic sounding, with the deep zone boundary (blue contour) included**

1 — kimberlite and carbonatite fields: Orto-Yrygakh (1), Starorechenskoye (2), Ary-Mastakh (3), Dyuken (4), Birigindinskiy (5), Kuranakh (6), Srednyaya Kuonamka (7); 2 — predicted Rassokha kimberlite field; 3 — research site

Source: from [13]



Рис. 2. Место отбора шлиховой пробы № 10512 в верховьях руч. Лёгкий — общий вид с высоты около 300 м с дрона

Fig. 2. Placer sample No. 10512 site in the Legkiy Creek's upper reaches — drone general view (height of about 300 m)



Рис. 3. Место отбора шлиховой пробы № 10512 в верховьях руч. Лёгкий — общий вид с минимальной высоты, включая расположение полевого лагеря геологов Института Карпинского. Фото с дрона

Fig. 3. Placer sample No. 10512 site in the Legkiy Creek's upper reaches — drone general view (minimum height), including the location of the field camp of the Karpinsky Institute geologists' field camp location

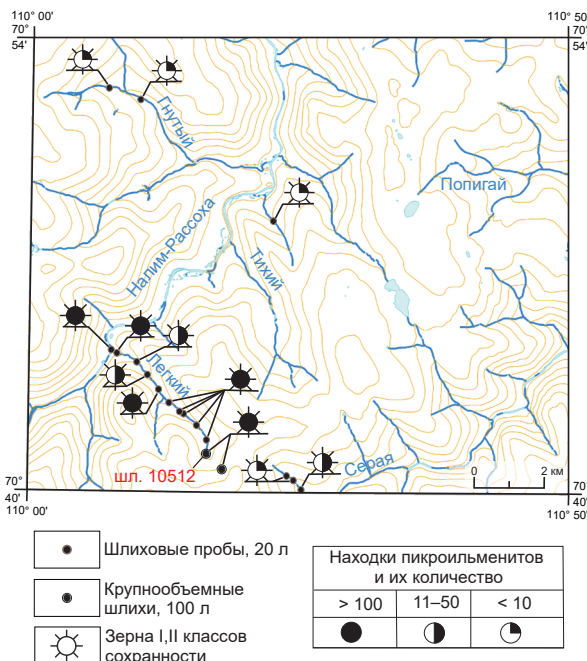


Рис. 4. Распределение пикроильменита в районе руч. Лёгкий по результатам шлихового опробования 2022–2023 гг.

Fig. 4. Distribution of picroilmenite in the Legkiy Creek area after the 2022–2023 placer sampling

пикроильменитам из включений в алмазах (MnO до 0,25 %) и алмазоносных перидотитов (рис. 8, a). Учитывая, что существует корреляция, выраженная в уменьшении степени алмазоносности с увеличением содержания  $Fe_2O_3$  и уменьшением MgO, то данные пикроильмениты могут быть отнесены к умеренно- и высокоалмазоносному коренному источнику (рис. 8, b).

Низкохромистые ( $Cr_2O_3$  0,1–1,6; MgO 6,38–17,2%;  $Fe_2O_3$ (минал) 3,3–18,5%) и бесхромистые (MgO 5,6–12,6%;  $Fe_2O_3$ (минал) 3,3–14,5%) пикроильмениты по составу в основном отвечают пикроильменитам из неалмазоносных перидотитов и пироксенитов и характерны для низко- и умеренноалмазоносных коренных источников.

Выявленная примесь марганца (MnO 0,4–1,4 %) в редких, наиболее магнизальных вышеописанных разновидностях пикроильменита (MgO 12,3–17,2) может свидетельствовать об их отношении к карбонатитам, однако примесь марганца в небольших количествах типична для краевых зон пикроильменитов из кимберлитов, образовавшихся в условиях субсолидусной перекристаллизации [15].

Перовскитовый состав реакционных кайм пикроильменита подтвержден рентгенофазовым анализом (рис. 9, a, b). Наблюдаемое макроскопическое различие участков каймы по цвету — светло-бежевые и темно-серые, по аналитическим данным

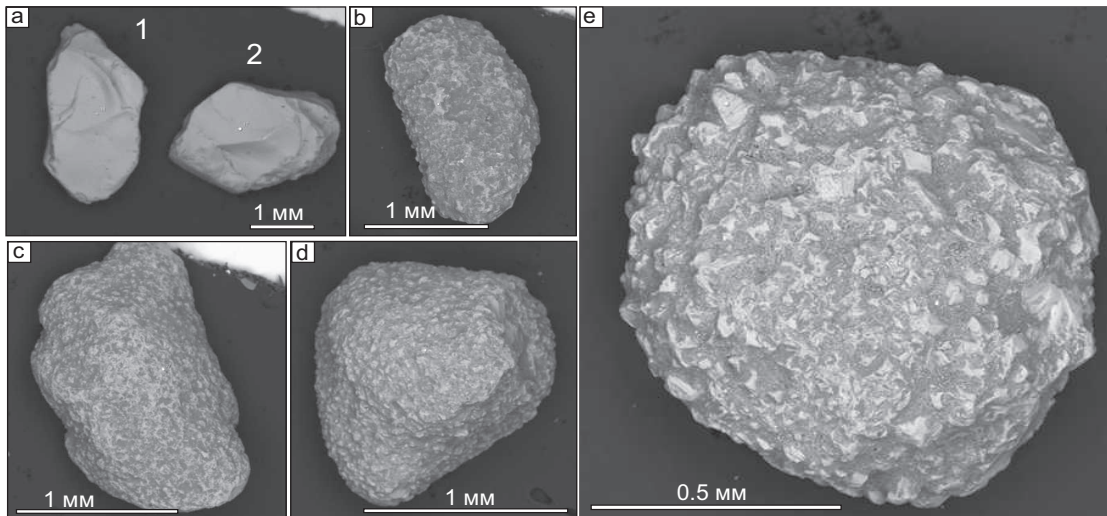


Рис. 5. Морфологические особенности пикроильменитов из шлиховой пробы № 10512 в обратно-отраженных электронах  
 Fig. 5. Morphological features of microilmenites from placer sample No. 10512 in back-scattered electrons

обусловлено присутствием примеси шпинелевой фазы до 30 % в последних (рис. 9, b).

Исследованная выборка из верховьев руч. Лёгкий наполовину представлена пикроильменитами, обладающими пониженным  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0–10 %), включая наиболее магнезиальные ( $\text{MgO}$  10,0–17,2 %) и хромистые ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  1,5–4,0 %) разновидности, что значимо их отличает от популяции пикроильменитов ( $\text{MgO}$  до 11 %;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 1,5 %;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  10–30 %) из аллювия рек Большая Куонамка и Баргыдамалаах, дренирующих неалмазоносные кимберлитовые поля (рис. 7).

**Пироп.** В пробе было обнаружено 4 красно-фиолетовых зерна пироба, представленных преимущественно обломками со свежими сколами, без признаков гипергенной коррозии (рис. 10, a–d). Наибольший интерес представляет зерно с сохранившейся исходной поверхностью — без следов механического износа (рис. 10, d).

По нашим данным и предшественников, в бассейне руч. Лёгкий преобладают пиропы с лерцолитовым парагенезисом (86 %), более редкие составы принадлежат дунит-гарцбургитовым (11 %) и пироксенитовым (первые %) парагенезисам (рис. 11). Подобное количественное соотношение парагенезисов с превалированием лерцолитового типично для кимберлитов.

Важно отметить, что, при исследовании выборки гранатов зерна пироба меняют цвет при смене типа освещения в бинокулярном микроскопе, в отличие от алмандина. Свет лампы накаливания окрашивает пиропы в яркий красно-розовый цвет, а светодиодный осветитель полностью его меняет на серо-фиолетовую. Это свойство может быть использовано для оперативной диагностики пироба в шлихах в присутствии многочисленных зерен алмандина.

**Хромшпинелиды.** Зерна хромшпинелидов смоляно-черного цвета были выделены преимущественно из немагнитной фракции шлиха. Морфология зерен различная: сглаженно-округлая, блокового строения

и субоктаэдрической формы (рис. 12). Для большинства зерен характерна первичная поверхность без признаков механического износа (рис. 12, 13).

Состав исследованных хромшпинелидов различный и коррелирует с их морфологическими особенностями (рис. 12, табл. 4). Выделяется несколько разновидностей шпинелей (рис. 14). Наиболее хромистые разновидности субферрихромиты ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  56,2 %) с низкоглиноземистым ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  6,9–8,2 %) и низкотитанистым ( $\text{TiO}_2$  0,3–0,6 %) составом имеют сглаженно-округлую форму (рис. 12, c, 13) и по этим

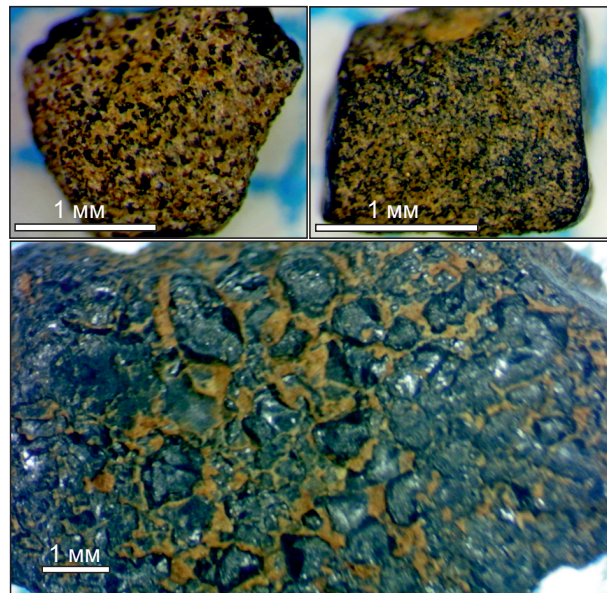


Рис. 6. Оторочки перовскита желто-коричневого цвета на поверхности крупных зерен пикроильменита из шлиховой пробы № 10512 при разном увеличении

Fig. 6. Yellow-brown perovskite margins on the surface of large microilmenite grains from placer sample No. 10512 at different magnifications

## Химический состав пикроильменита из аллювия верховья руч. Лёгкий (масс. %)

Table 3. Chemical composition of picroilmenite from the alluvium of the Legkiy Creek's upper reaches (wt. %)

№ п/п	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO
1-д	–	54	–	0,3	28,1	0,4	17,2	–
2	–	54,62	–	2,60	26,92	1,02	14,84	–
3-г	–	30,9	–	3	50,8	0,7	14,7	–
4	–	51,2	–	2,6	31,4	0,4	14,5	–
5	–	49,5	–	3,5	33	0,4	13,5	–
6	–	47,7	–	0,2	38,2	0,4	13,4	–
7	–	56,51	–	2,83	26,53	0,78	13,36	–
8	–	52,79	–	3,38	30,52	–	13,31	–
9	–	56,53	–	2,74	27,52	–	13,21	–
10	–	57,8	–	1	127,5	0,4	13,2	0,2
11	–	55,33	–	2,82	28,05	0,79	13,01	–
12	–	49,9	–	0,5	35,9	0,5	12,8	0,4
13	–	57,27	–	–	28,66	1,42	12,66	–
14-б	–	50,6	–	0,3	36,1	0,3	12,6	–
15	–	53,1	–	1,6	32,5	0,4	12,4	–
16	–	55,99	–	0,00	31,20	0,47	12,34	–
17	–	51,7	–	1,7	34,6	0,5	11,6	–
18	–	53,2	–	4	30,9	0,5	11,5	–
19	–	56,84	–	2,96	29,22	–	10,99	–
20	–	54,38	–	2,32	32,37	–	10,93	–
21	–	49,6	–	0,1	39,7	0,4	10,2	–
22	–	51,61	–	0,00	37,11	1,08	10,19	–
23	–	53,19	–	0,82	35,48	0,37	10,15	–
24	–	51,18	–	0,93	37,98	–	9,91	–
25	0,5	53,7	0,7	0,6	33,5	0,5	9,9	–
26	–	52,04	–	0,76	37,59	0,33	9,29	–
27	–	53,15	–	0,75	36,44	0,38	9,28	–
28	–	54,4	–	1,1	34,7	0,6	9	0,1
29	–	48,1	–	–	43,3	0,4	8	–
30	–	51,86	–	0,00	40,09	–	8,05	–
31	–	52,95	–	0,00	39,16	–	7,90	–
32-а-1	0,5	47,1	0,9	0,4	43,5	–	7,7	–
33	–	48,43	–	–	43,97	–	7,60	–
34	–	49,5	–	–	42,7	0,3	7,5	–
35	–	51,09	–	1,61	39,91	0,00	7,39	–
36	–	47,44	–	–	45,42	0,00	7,13	–
37	–	49,49	–	–	43,42	–	7,09	–
38	0,9	48,1	0,9	0,6	42	0,4	7	–
39	–	51,7	–	0,5	40,5	0,5	6,9	–
40-в	5,5	54,2	3,3	–	29,2	0,9	6,9	–
41	–	50,02	–	–	43,23	–	6,75	–
42	–	50,37	–	–	42,92	–	6,71	–
43-а-2	–	47,3	–	0,3	45,7	–	6,7	–
44	–	49,55	–	–	43,75	–	6,70	–
45	–	50,70	–	–	42,74	–	6,56	–
46	–	50,22	–	–	43,32	–	6,46	–
47	–	48,01	–	0,58	44,98	–	6,42	–
48	–	51,59	–	1,06	40,97	–	6,38	–
49	–	50,63	–	–	43,03	–	6,34	–
50	–	50,88	–	–	43,05	–	6,07	–
51	–	51,98	–	–	41,99	–	6,03	–
52	–	49,77	–	–	44,59	–	5,64	–
53	–	48,28	–	–	46,11	–	5,61	–
54	–	51,04	–	0,41	43,22	–	5,33	–

Примечание. Буквы и цифры в графе «№ п/п» обозначают составы зерен, приведенных на рис. 5

Note. Letters and numbers in the column "№ п/п" correspond to the grain compositions in fig. 5



признакам соответствуют кристаллам из ультрамафических глубинных пород коэситовой фации. Субферриалюмохромит отличается блоковым строением (рис. 12, *b*), пониженным содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (43 %) и более высоким количеством  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (23 %) и может происходить из катаклазированных дунитов либо лерцолитов. Составы кристаллов шпинелидов, определенные как субалюмоферрихромит и субалюмохром-магнетит имеют наиболее низкие концентрации  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (33,4 и 20,8 %), относительно высокие количества железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  34,0 и 46,9 %) и титана ( $\text{TiO}_2$  7,3 и 13,1 %) при низком уровне  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (9,3 и 6,1 %) с примесью  $\text{MnO}$  и  $\text{ZnO}$  (табл. 4). Подобные составы соответствуют субидiomорфным октаэдрическим хромшпинелидам, распространенным в основной массе кимберлитов (рис. 14). Однако субоктаэдрическая форма характерна лишь для проанализированного субалю-

мохром-магнетита (рис. 12, *d*). Субалюмоферрихромит обладает ксеногенной сглаженно-округлой формой (рис. 12, *a*), позволяющей предполагать, что анализ был получен из краевой реакционной каймы, образовавшейся на кристалле из ультрамафитовых глубинных пород.

Таким образом, исследованные шпинелиды из аллювия руч. Лёгкий представляют собой ассоциацию кристаллов, которые по морфологии и составу являются типичными для отдельных кимберлитовых тел.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые изученные типоморфные особенности пикроильменитов, пиропов и шпинелидов доказывают их принадлежность к минералам-

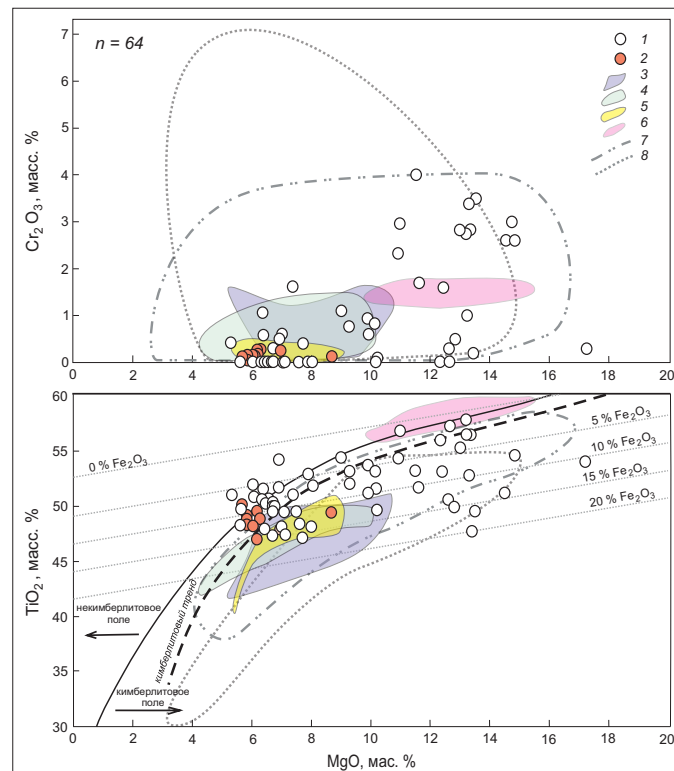


Рис. 7. Распределение  $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  в пикроильменитах долины руч. Лёгкий

1 — пикроильменит из шлиха № 10512; 2 — пикроильменит по данным предшественников. Поля составов пикроильменита: 3–5 — из аллювия р. Сербьян (3), р. Большая Куонамка,  $n = 30$  (4), р. Баргыдамалаах,  $n = 30$  (5); 6 — из глубинных пород: гранатовых перидотитов, гранатовых клинопироксенитов и эклогитов — границы кимберлитового и некимберлитового полей; пикроильменитов из кимберлитов гр. 1, Юж. Африка,  $n = 2338$  (7) и России,  $n = 2629$  (8) — трубки Удачная, Мир

Источник: составлено автором М. Н. Голобурдиной: 2 — на основе отчета\*; 3–5 — [4]; 6 — [16]; границы — [17]

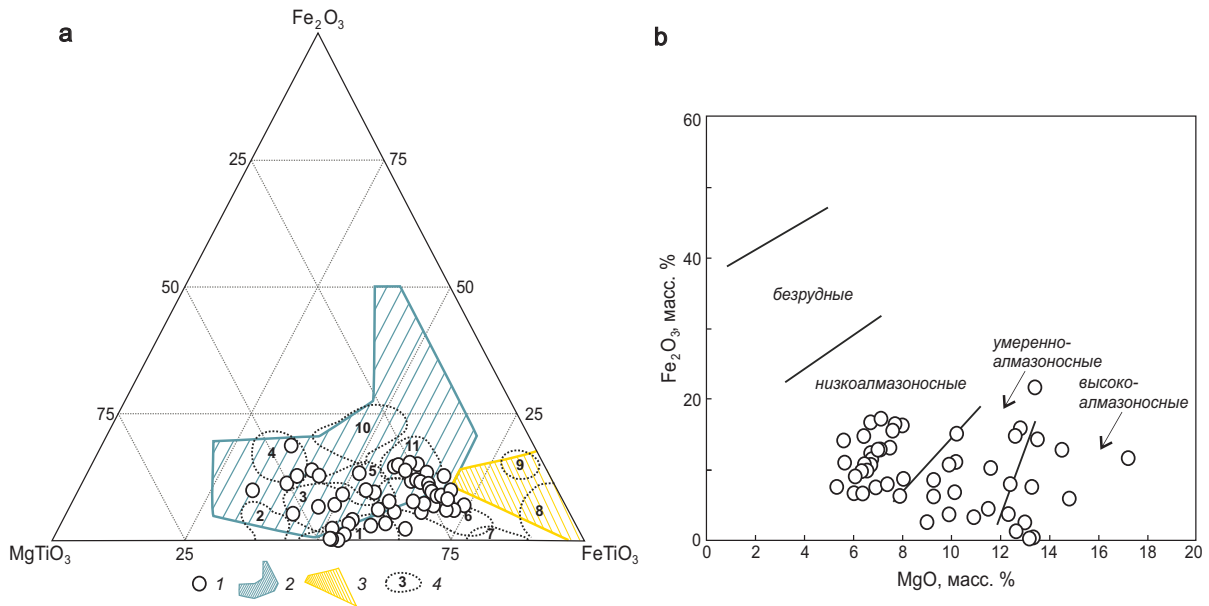
Fig. 7. Distribution of  $\text{MgO-Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  in picroilmenites of the Legkiy Creek valley

1 — picroilmenite from concentrate No. 10512; 2 — picroilmenite by predecessors' data. Picroilmenite composition fields: 3–5 from the alluvium of the Serbeyan River (3), Bolshaya Kuonamka River,  $n = 30$  (4), Bargydamalaakh River,  $n = 30$  (5); 6 — from the deep rocks: garnet peridotites; garnet clinopyroxenites and eclogites — boundaries of the kimberlite and non-kimberlite fields; picroilmenites from kimberlites of group 1, South Africa,  $n = 2338$  (7) and Russia,  $n = 2629$  (8) — kimberlite pipe Udachnaya, Mir

Source: adapted by the author M. N. Goloburdina: 2 — from the report\*\*; 3–5 — [4]; 6 — [16]; boundaries — [17]

\*Куликов Ю. П. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна р. Налим-Рассоха. Отчет по групповой геологической съемке масштаба 1 : 50 000 в северной части Анабара в пределах Билляхской зоны. ПГО «Красноярскгеология», ГСЭ. Красноярск, 1984

\*\*Kulikov Yu. P. Geological composition and mineral resources of the Nalim-Rassokha River basin. Report on the group geological survey (scale 1 : 50,000) of the northern Anabar Shield, within the Bilyakh zone. Krasnoyarskgeologiya, GSE. Krasnoyarsk; 1984



**Рис. 8. Диаграммы  $MgTiO_3$ - $Fe_2O_3$ - $FeTiO_3$  (a) и  $Fe_2O_3$ - $MgO$  (b) для пикроильменита из аллювия верховья руч. Лёгкий**

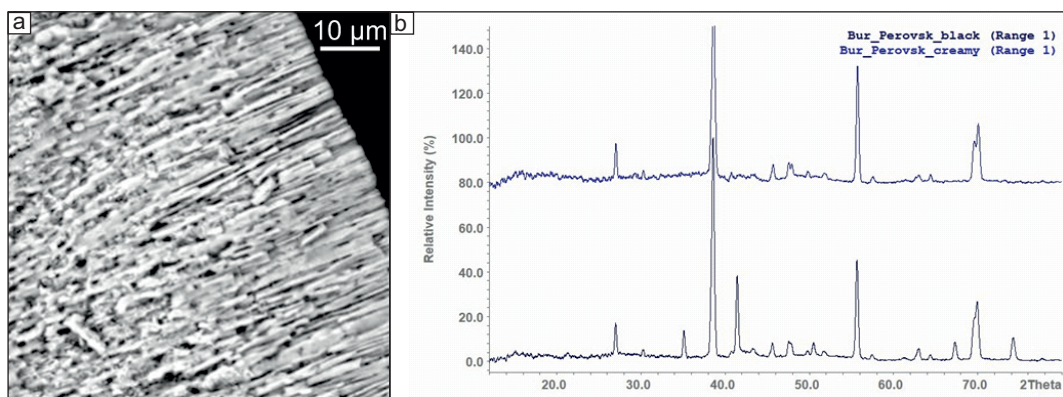
1 — пикроильменит из слича № 10512, n = 54; 2, 3 — поля составов пикроильменитов кимберлитов (2) и карбонатитов, гранитов, базальтов (3); 4 — поля составов макрокристаллического ильменита из кимберлитов: 1 — включений в алмазе и алмазных перидотитов, 2 — из алмазоносных лерцолитов и метасоматизированных перидотитов, 3 — из включений в алмазе, неалмазоносных перидотитов, метасоматизированных и катаклазированных лерцолитов, 4 — неалмазоносных перидотитов и энстатитов, 5 — неалмазоносных лерцолитов и пироксенитов (ильменит-клинопироксеновые сростки), 6 — неалмазоносных пироксенитов, 7 — неалмазоносных пироксенитов, вебстеритов и эклогитов, 8 — эклогитов, 9 — эклогитоподобных пород, 10 — из включений в зональных гранатах, сростков с ними и неалмазоносных перидотитов, 11 — неалмазоносных перидотитов, пироксенитов и включений в зональных гранатах

Источник: составлено автором М. Н. Голобурдиной: 1 — на основе [18], 4 — [19]; поля с различным уровнем алмазоносности на рис. b — [20]

**Fig. 8. Diagrams  $MgTiO_3$ - $Fe_2O_3$ - $FeTiO_3$  (a) and  $Fe_2O_3$ - $MgO$  (b) for picroilmenite from the alluvium of the Legkiy Creek's upper reaches**

1 — picroilmenite from concentrate No. 10512, n = 54; 2, 3 — Picroilmenite composition fields of kimberlites (2) and carbonatites, granites, basalts (3); 4 — Macrocrystalline ilmenite composition fields from kimberlites: 1 — inclusions in diamond and diamond peridotites, 2 — from diamond-bearing lherzolites and metasomatized peridotites, 3 — from inclusions in diamond, non-diamond-bearing peridotites, metasomatized and cataclastic lherzolites, 4 — non-diamond-bearing peridotites and enstatites, 5 — non-diamond-bearing lherzolites and pyroxenites (ilmenite-clinopyroxene intergrowths), 6 — non-diamond-bearing pyroxenites, 7 — non-diamond-bearing pyroxenites, websterites and eclogites, 8 — eclogites, 9 — eclogite-like rocks, 10 — from inclusions in zonal garnets, their intergrowths, and non-diamond-bearing peridotites, 11 — non-diamond-bearing peridotites, pyroxenites, and inclusions in zonal garnets

Source: adapted by the author M. N. Goloburdina: 1 — from [18], 4 — [19]; diamond potential fields (different levels) in Fig. b — [20]



**Рис. 9. Перовскитовая кайма пикроильменита**

a — поперечный срез каймы в обратно-рассеянных электронах; b — спектры рентгеновской дифракции валовых порошковых проб кайм перовскита из участков светло-бежевых (верхний спектр) и темно-серых (нижний спектр). Дополнительные пики в нижнем спектре отражают присутствие шпинелевой фазы

**Fig. 9. Perovskite rim on picroilmenite**

a — rim cross section in back-scattered electrons; b — X-ray diffraction spectra of perovskite rim bulk powder samples from the sections of light beige (upper spectrum) and dark gray (lower spectrum). Additional peaks in the lower spectrum reflect the spinel phase

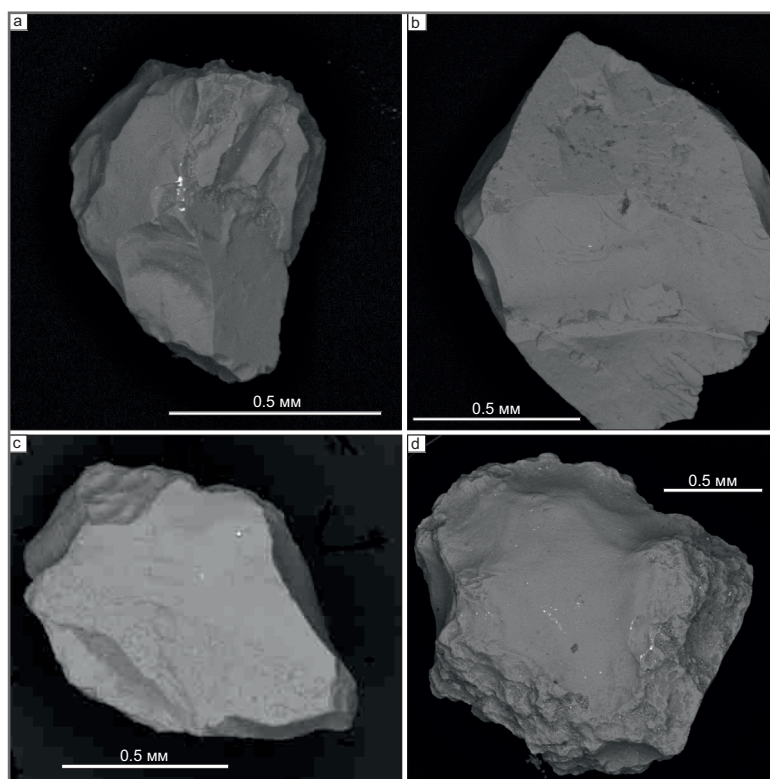


Рис. 10. Зерна пироба со свежими сколами (а–с) и сохранившимся первичным рельефом (d) из шлиховой пробы № 10512 в обратно-рассеянных электронах

Fig. 10. Pyrope grains with fresh shears (a–c) and preserved primary relief (d) from placer sample No. 10512 in back-scattered electrons

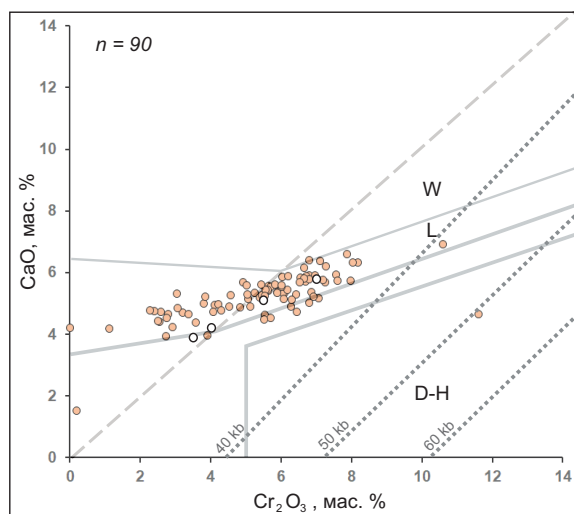


Рис. 11. Соотношение содержания CaO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в пиробах долины руч. Лёгкий. Парагенезисы пиробов: D-H — дунит-гарцбургитовый, L — лерцолитовый, W — верлитовый

Источник: составлено автором М. Н. Голобурдиной на основе [21] и отчета\*, закрасненные кружки — по материалам отчета\*

Fig. 11. Ratio of the CaO and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content in pyropes of the Legkiy Creek valley. Pyrope parageneses: D-H — dunit-harzburgite, L — lherzolite, W — verlites

Source: adapted by the author M. N. Goloburdina from [21] and the report\*\*, filled circles — from the report\*\*

\*Куликов Ю. П. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна р. Налим-Рассоха. Отчет по групповой геологической съемке масштаба 1 : 50 000 в северной части Анабара в пределах Билляхской зоны. ПГО «Красноярскгеология», ГСЭ. Красноярск, 1984

\*\*Kulikov Yu. P. Geological composition and mineral resources of the Nalim-Rassokha River basin. Report on the group geological survey (scale 1 : 50,000) of the northern Anabar Shield, within the Billyakh zone. Krasnoyarskgeologiya, GSE. Krasnoyarsk, 1984

индикаторам кимберлитов. Совместное их нахождение и установленные для них характерные первичные поверхности свидетельствуют о близком расположении их от коренного источника.

2. Исследованные пикроильмениты по выявленному широкому спектру содержания Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0–4%), соотношениям MgO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO–TiO<sub>2</sub> и распределению миналов сопоставимы с пикроильменитами из кимберлитов.

3. Охарактеризованные типичные разновидности магнезиального и хромистого пикроильменита (MgO 10–17,2; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,5–4; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0–10%) верховьев руч. Лёгкий отвечают составам включений

в алмазах и алмазоносных перидотитах и могут принадлежать к алмазоносному коренному источнику. По этим показателям они существенно отличаются от популяции пикроильменитов (MgO до 11%; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 1,5%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10–30%) из аллювия рек Большая Куонамка и Баргыдамалаах, дренирующих неалмазоносные кимберлитовые поля, что является основанием для прогноза на обнаружение нового алмазоносного кимберлитового поля в центральной части Анабарского массива.

4. В долине руч. Лёгкий распространены пиробы с лерцолитовым парагенезисом (86%), более редкие составы принадлежат к дунит-гарцбургитовым

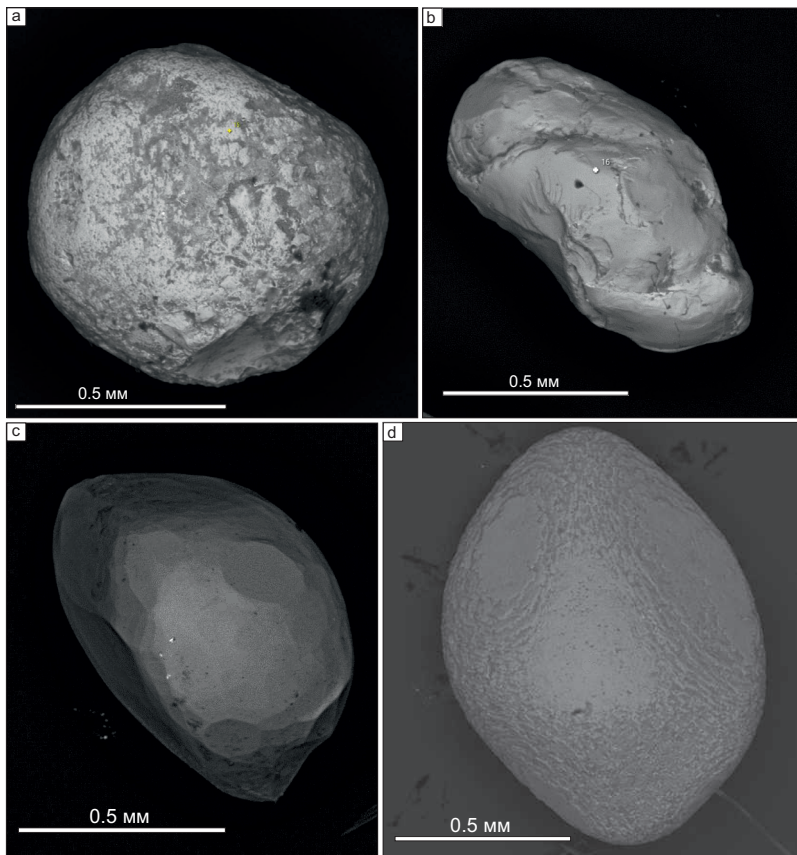


Рис. 12. Зерна хромшпинелидов из шлиховой пробы № 10512 в обратно-рассеянных электронах

Fig. 12. Chromspinelide grains from placer sample No. 10512 in back-scattered electrons

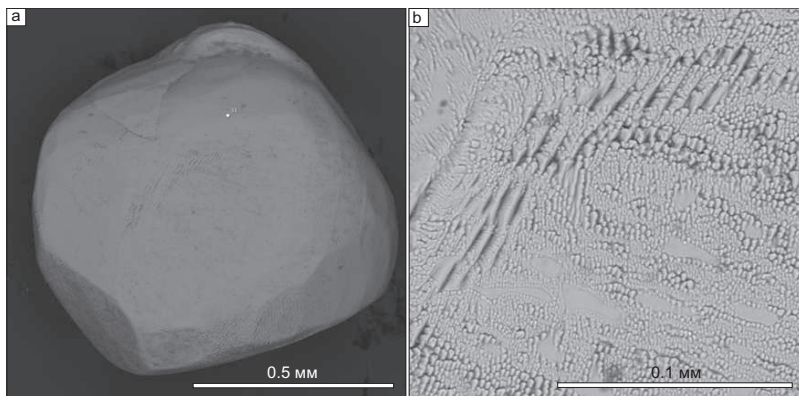


Рис. 13. Морфология и характер поверхности хромшпинелида из шлиховой пробы № 10512 в обратно-рассеянных электронах  
a — сглаженно-округлая форма, b — показана детализация поверхности без признаков механического износа

Fig. 13. Morphology and surface character of chromspinelide from placer sample No. 10512 in back-scattered electrons

a — smooth rounded shape, b — detailed surface without mechanical wear signs

Таблица 4

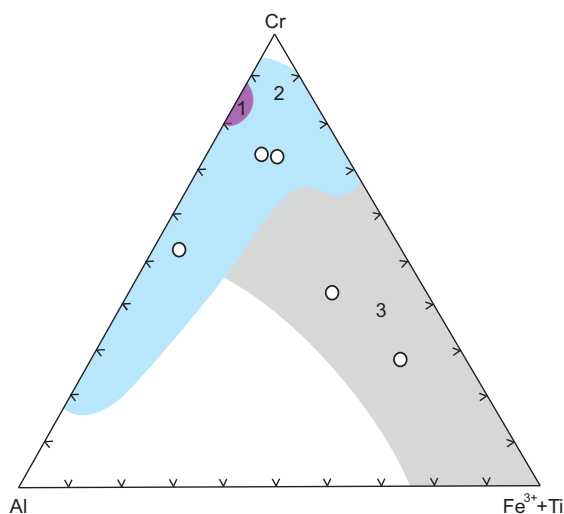
**Химический состав шпинелидов из аллювия верховья руч. Лёгкий (масс. %)**

Table 4. Chemical composition of spinelides from the alluvium of the Legkiy Creek's upper reaches (wt. %)

№ п/п	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ZnO
1-а	0,5	13,1	6,1	20,8	46,9	0,6	11,5	0,2	0,4
2-б	0,5	0,4	23,1	42,9	19,7	—	13,4	—	—
3-в	0,9	0,3	8,2	56,2	21,2	—	13,3	—	—
4-г	0,6	7,3	9,3	33,4	34	0,5	15	—	—
5*	0,5	0,6	6,9	56,2	20,9	—	14,8	—	—

Примечание. Буквы в графе «№ п/п» соответствуют составам зерен, приведенных на рис. 12; № 5\* — состав зерна на рис. 13

Note. Letters in the column "№ п/п" correspond to the grain compositions in fig. 12; no. 5\* refers to the grain composition in fig. 13



**Рис. 14. Составы шпинелидов из алювия руч. Лёгкий на диаграмме Al–Cr–Fe<sup>3+</sup>+Ti (кат.). Поля шпинелидов**

1 — ассоциирующих с алмазом, 2 — ксенолитов ультраосновных пород, 3 — составы зональных шпинелидов из связующей массы кимберлитов

Источник: составлено автором М. Н. Голобурдиной на основе [22]

**Fig. 14. The compositions of spinelides from the alluvium of the Legkiy Creek in the diagram Al–Cr–Fe<sup>3+</sup>+Ti (cat.). Spinelide fields**

1 — diamond-associated, 2 — xenoliths of ultrabasic rocks, 3 — compositions of zonal spinelides from the binding mass of kimberlites

Source: adapted by the author M. N. Goloburdina from [22]

(11%) и пироксенитовым парагенезисам. Определенное количественное соотношение парагенезисов пироба с превалированием лерцолитового типично для кимберлитов.

5. Обнаруженные шпинелиды имеют первичные поверхности и по типоморфным особенностям происходят из глубинных ультрамафитовых пород и основной массы кимберлитов, образуя единую ассоциацию в коренном источнике.

6. В период исследовательских работ была установлена оперативная диагностика пироба в шлиховых пробах с большим количеством алмазидина под бинокулярным микроскопом при использовании сменных типов осветителей на базе светодиодов и ламп накаливания.

Таким образом, благодаря проведенным полевым и детальным лабораторно-аналитическим исследованиям изучены широкие спектры кимберлитовых минералов и установлено, что на них отсутствует механический износ, что свидетельствует о первичном ореоле минералов-индикаторов кимберлитов от коренного тела в верховьях руч. Лёгкий. Рассмотренный фактический материал подтверждает данные красноярских геологов<sup>1</sup> и позволяет прогнозировать на Анабарском массиве в бассейне рек Налим-Рассоха и Улахан-Старая новое кимберлитовое поле (Рассохинское). Повышенная мощность земной коры на данной территории и наличие зерен пиробов алмазной ассоциации позволяют рассчитывать на его потенциальную продуктивность.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зайцев А. И., Смелов А. П. Изотопная геохронология пород кимберлитовой формации Якутской провинции. Якутск, 2010. 108 с.

<sup>1</sup> Куликов Ю. П. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна р. Налим-Рассоха. Отчет по групповой геологической съемке масштаба 1 : 50 000 в северной части Анабара, в пределах Билляхской зоны. ПГО «Красноярскгеология», ГСЭ. Красноярск, 1984.

2. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М. : Недра, 2003. 603 с.

3. Граханов С. А. Формирование алмазоносной россыпи р. Большая Куонамка (север Сибирской платформы) // Отечественная геология. 2016. № 6. С. 1–8.

4. Граханов С. А. Перспективы коренной алмазоносности Анабарского кристаллического массива // Вестник Госкомгеологии: материалы по геологии и полезным ископаемым Республики Саха (Якутия). 2001. № 1. С. 65–75.

5. Докембрийские алмазоносные провинции мира / М. П. Метелкина [и др.]. М. : Недра, 1976. 134 с.

6. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Тычков С. А. Проблема докембрийской алмазоносности Сибирской платформы // Вестник Воронежского университета. Геология. 2002. Вып. 1. С. 19–36.

7. Россыпи алмазов России / С. А. Граханов [и др.]. Новосибирск : Гео, 2007. 420 с.

8. Палеозойский U–Pb возраст включения рутила в алмазе V–VII разновидности из россыпей северо-востока Сибирской платформы / В. П. Афанасьев [и др.] // Докл. РАН. 2009. Т. 428, № 2. С. 1–5.

9. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton / W. L. Griffin [et al.] // Tectonophysics. 1999. Vol. 310. P. 1–35. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00156-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00156-0).

10. Новые данные о возрасте кимберлитов Якутской алмазоносной провинции / А. М. Агашев [и др.] // Докл. РАН. 2004. Т. 399, № 1. С. 95–99.

11. Изотопно-геохимические и возрастные характеристики раннепротерозойских террейнов, коллизионных зон и связанных с ними анортозитов на северо-востоке Сибирского кратона / О. М. Розен [и др.] // Геология и геофизика. 2000. Т. 41, № 2. С. 163–180.

12. Clifford T. N. Tectono–metallogenic units and metallogenic provinces of Africa // Earth Planetary Science Letters. 1966. Vol. 1. P. 421–434. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(66\)90039-2](https://doi.org/10.1016/0012-821X(66)90039-2).

13. Манаков А. В. Закономерности размещения алмазоносных кимберлитов на основе анализа глубинного строения литосферы // Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Якутск : ИГиБМ СО РАН, 2002. 40 с.

14. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П. Поисковая минералогия алмаза. Новосибирск : Гео, 2010. 650 с.

15. Костровицкий С. И., Яковлев Д. А., Суворова Л. Ф. Эволюция состава пикроильменита из кимберлитовых трубок Якутии // Современные проблемы геохимии: Матер. Всероссийского совещания (с участием иностранных ученых), посвященного 95-летию со дня рождения академика Л. В. Таусона. Иркутск : Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы, СО РАН. В 3-х томах. 2012. Т. 2. С. 90–93.

16. Литосферная мантия Накынского кимберлитового поля (Якутия) по данным изучения мантийных ксенолитов и базальтов трубки Нюрбинская / С. М. Саблуков [и др.] // Тр. VII межд. семинара. Щелочной магматизм, его источники и плюмы. Иркутск-Неаполь: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. С. 167–184.

17. Compositional classification of “kimberlitic” and “non-kimberlitic” ilmenite / B. A. Wyatt [et al.] // 8<sup>th</sup> IKC Selected Papers. Lithos, 2004. Vol. 2, no. 77. P. 819–840. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.025>.

18. Mitchell R. H., Bergman S. B. Petrology of lamproites. New York: Plenum Press, 1991. 472 p.

19. Микросталлические оксиды из кимберлитов России / В. К. Гаранин [и др.]. М.: ГЕОС, 2009. 498 с.

20. Gurney J. J., Zweistra P. The interpretation of the major element compositions of mantle minerals in diamond exploration // Journal of Geochemical Exploration. 1995. No. 53. P. 293–309. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00021-3](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00021-3).

21. Соболев Н. В. О минералогических критериях алмазности кимберлитов // Геология и геофизика. 1971. № 3. С. 70–80.

22. Никишов К. Н. Петролого-минералогическая модель кимберлитового процесса. М.: Наука, 1984. 211 с.

## REFERENCES

1. Zaytsev A. I., Smelov A. P. Isotope geochronology of rocks of kimberlite formation of Yakut province. Yakutsk; 2010. 108 p. (In Russ.).

2. Zinchuk N. N., Koptil V. I. Typomorphism of diamonds of the Siberian platform. Moscow: “Nedra” Publisher; 2003. 603 p. (In Russ.).

3. Grakhanov S. A. Formation of the diamond-bearing placer of the Bolshaya Kuonamka River (north of the Siberian platform). *Domestic geology*. 2016; (6): 1–8. (In Russ.).

4. Grakhanov S. A. Prospects for the primary diamond potential of the Anabar crystalline massif. *Bulletin of the State Committee on Geology: materials on geology and mineral resources of the Republic of Sakha (Yakutia)*. 2001; (1): 65–75. (In Russ.).

5. Precambrian diamondiferous provinces of the world / M. P. Metyelkina [et al.]. Moscow: “Nedra” Publisher; 1976. 134 p. (In Russ.).

6. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Tichkov S. A. The problem of Precambrian diamond potential of the Siberian platform. *Bulletin of the Voronezh State University. Geology*. 2002; (1): 19–36. (In Russ.).

7. Diamond placers of Russia / S. A. Grakhanov [et al.]. Novosibirsk: “Geo” Publisher; 2007. 420 p. (In Russ.).

8. Paleozoic U-Pb age of rutile inclusion in diamond of V-VII type collected from placers of northeast part of the Siberian platform / V. P. Afanasyev [et al.]. *Reports of Russian Academy of Sciences*. 2009; 428 (2): 1–5. (In Russ.).

9. The Siberian lithosphere traverse: mantle terranes and the assembly of the Siberian Craton / W. L. Griffin [et al.]. *Tectonophysics*. 1999; 310: 1–35. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00156-0](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00156-0).

10. New data on kimberlite age of Yakut diamond province / A. M. Agashev [et al.]. *Reports of Russian Academy of Sciences*. 2004; 399 (1): 95–99.

11. Isotope-geochemical and age characteristics of early Proterozoic terranes, collision zones and associated anorthosites in the north-east of the Siberian craton / O. M. Rozen [et al.]. *Geology and Geophysics*. 2000; 41 (2): 163–180. (In Russ.).

12. Clifford T. N. Tectono-metallogenic units and metallogenic provinces of Africa. *Earth Planetary Science Letters*. 1966; 1: 421–434. [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(66\)90039-2](https://doi.org/10.1016/0012-821X(66)90039-2).

13. Manakov A. V. Patterns of diamond-bearing kimberlite distribution based on analysis of the deep structure of the lithosphere. *DSc. dissertation (Geology-Mineralogy) abstract*. Yakutsk: Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; 2002. 40 p. (In Russ.).

14. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. Prospecting mineralogy of diamond. Novosibirsk: “Geo” Publisher; 2010. 650 p. (In Russ.).

15. Kostrovitskiy S. I., Yakovlev D. A., Suvorova L. F. Evolution of the composition of picroilmenite from kimberlite pipes of Yakutia. *Modern problems of geochemistry: Proceedings of the All-Russian Conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of Academician L. V. Tauson. Irkutsk, Publisher of the V. B. Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences*. 2012; 2: 90–93 (In Russ.).

16. Lithospheric mantle of the Nakyn kimberlite field (Yakutia) based on the study of mantle xenoliths and basalts of the Nurbinskaya pipe / S. V. Sablukov [et al.]. *Proceedings of the VII International Seminar. Alkaline Magmatism, Its Sources and Plumes. Irkutsk-Napoli, Publisher of the Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2007. P. 167–184 (In Russ.).

17. Compositional classification of “kimberlitic” and “non-kimberlitic” ilmenite / B. A. Wyatt [et al.]. 8<sup>th</sup> IKC Selected Papers. *Lithos*. 2004; 2 (77): 819–840. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.025>.

18. Mitchell R. H., Bergman S. B. Petrology of lamproites. New York: Plenum Press; 1991. 472 p.

19. Microcrystalline oxides from kimberlites of Russia / V. K. Garaniin [et al.]. Moscow: “GEOS” Publisher; 2009. 498 p. (In Russ.).

20. Gurney J. J., Zweistra P. The interpretation of the major element compositions of mantle minerals in diamond exploration. *Journal of Geochemical Exploration*. 1995; (53): 293–309. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00021-3](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00021-3).

21. Soboлев N. V. On mineralogical criteria for diamond-bearing kimberlites. *Geology and Geophysics*. 1971; (3): 70–80 (In Russ.).

22. Nikishov K. N. Petrological and mineralogical model of the kimberlite process. Moscow: “Nauka” Publisher; 1984. 211 p. (In Russ.).

## Бураков Борис Евгеньевич

Доктор геолого-минералогических наук, ведущий специалист

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-4765-3100>

Scopus Author ID 6701735957

ResearcherID AFO-8439-2022

SPIN-код ПИИЦ 2589-9238

Boris\_Burakov@karpinskyinstitute.ru

## Boris E. Burakov

DSc (Geology and Mineralogy), Leading Specialist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-4765-3100>

Scopus Author ID 6701735957

ResearcherID AFO-8439-2022

RSCI SPIN-code 2589-9238

Boris\_Burakov@karpinskyinstitute.ru

## Голобурдина Марина Николаевна

Ведущий геолог

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0007-3390-1955>

SPIN-код РИНЦ 1900-6624

Marina\_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru

## Marina N. Goloburdina

Leading Geologist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0007-3390-1955>

RSCI SPIN-code 1900-6624

Marina\_Goloburdina@karpinskyinstitute.ru

## Граханов Сергей Александрович

Доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник<sup>1</sup>, главный геолог<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>АЛМАР — алмазы Арктики, Якутск, Россия

<https://orcid.org/0009-0009-5327-309X>

SPIN-код РИНЦ 5254-5010

s.grakhanov@yandex.ru

## Sergey A. Grakhanov

DSc (Geology and Mineralogy), Chief Researcher<sup>1</sup>, Chief Geologist<sup>2</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup>ALMAR — diamonds of the Arctic, Yakutsk, Russia

<https://orcid.org/0009-0009-5327-309X>

RSCI SPIN-code 5254-5010

s.grakhanov@yandex.ru

---

**Авторское выражение благодарности:** авторы признательны А. А. Устинову и М. Ю. Курапову за участие в полевых работах; В. Ф. Сапеге, А. В. Антонову и минералогам Вилуйской геологоразведочной экспедиции ПАО «АЛРОСА» за проведение лабораторных исследований. Авторы выражают благодарность ресурсному центру «Рентгенодифракционные методы исследования» СПбГУ за инструментальную поддержку в проведении рентгенодифракционных исследований.

**Acknowledgments:** the authors are very grateful to A. A. Ustinov and M. Yu. Kurapov for participating in the field work; to V. F. Sapega, A. V. Antonov, and mineralogists of Vilyuy geological exploration expedition of ALROSA (PJSC) for laboratory analytical work. The authors thank the Research Centre for X-ray Diffraction Studies of Saint-Petersburg State University for providing instruments to conduct X-ray diffraction studies.

---

**Вклад авторов:** Бураков Б. Е. — аналитические исследования, написание исходного текста.  
Голобурдина М. Н. — развитие методологии, обработка и интерпретация результатов, написание исходного текста.  
Граханов С. А. — актуальность исследований, интерпретация результатов, написание исходного текста.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** Burakov B. E. — analytical work, writing the paper draft.  
Goloburdina M. N. — methodology development, data processing and interpretation, writing the paper draft.  
Grakhanov S. A. — relevance of research, data interpretation, writing the paper draft.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 29.10.2024  
Одобрена после рецензирования 18.11.2024  
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 29.10.2024  
Approved after reviewing 18.11.2024  
Accepted for publication 28.12.2024