

Научная статья

УДК 553.81(571.56)

doi:10.52349/0869-7892_2025_104_130-147

Новые перспективы коренной алмазоносности Намана-Синского района, Республика Саха (Якутия)

Г. А. Козлов¹✉, Б. А. Калмыков², А. А. Трусов²,
Д. И. Гилязов¹, А. В. Осипов³, В. И. Леонтьев¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия, gleb_kozlov@karpinskyinstitute.ru✉

² Акционерное общество «Геофизическое научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика», Москва, Россия

³ Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия

Ключевые слова: алмазы, Чаро-Синская зона, кимберлитовое поле, Южная Якутия

Благодарности: авторы выражают благодарность Е. Л. Грузовой, О. А. Яковлевой из Центральной аналитической лаборатории, сотрудникам отделов: металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых и региональной геологии и полезных ископаемых Севера Сибири Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского, сотрудникам Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов и Вилюйской геологоразведочной экспедиции АК «АЛРОСА» (ПАО), принимавшим участие в полевых работах и обработке материалов, а также А. Ю. Колеснику и А. В. Чумакову за ценные консультации и помощь в обработке материалов.

Для цитирования: Новые перспективы коренной алмазоносности Намана-Синского района, Республика Саха (Якутия) / Г. А. Козлов [и др.] // Региональная геология и металлогенез. 2025. Т. 32, № 4. С. 130–147. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_104_130-147

Аннотация. Приводятся новые данные о перспективах коренной алмазоносности северо-западной части Алданской провинции (в пределах Чаро-Синской зоны). Описано геологическое строение, характер и особенности различных трансформант и аномальных геофизических полей. Выделенные структуры ранжированы по времени и характеру заложения, а также по кинематике. Среди них определены системы разрывных нарушений, потенциально контролирующие положение объектов ранга кимберлитового поля. Рассмотрены особенности состава тяжелой фракции шлихов, приведены результаты морфологического и микрозондового анализа индикаторных минералов кимберлитов. Все эти данные рассматриваются в качестве критерии и признаков коренной алмазоносности с моделированием положения потенциального ареала проявления кимберлитового магматизма и потенциальных промежуточных коллекторов. Результаты анализа морфологии, состава, степени сохранности индикаторных минералов кимберлитов площади, а также характера их распространения указывают на приуроченность их ореолов в долинах рек Мырая, Хатыстырь, Марха, Мархачан и др. к единому минералогическому полю северо-восточной ориентировки, в пределах площади развития Чара-Олекминского сегмента Чаро-Синской зоны. Объекты ранга потенциального кимберлитового поля могут располагаться в зонах сочленения разломов Чаро-Синской зоны с более молодыми сбросо-сдвигами северо-западного простирания в долине р. Намыльдах.

Original article

UDC 553.81(571.56)

doi:10.52349/0869-7892_2025_104_130-147

Keywords: diamonds, Chara-Sinsk zone, kimberlite field, South Yakutia

New prospects for primary diamond potential in the Namana-Sinsk region, Republic of Sakha (Yakutia)

Г. А. Козлов¹✉, Б. А. Калмыков², А. А. Трусов²,
Д. И. Гилязов¹, А. В. Осипов³, В. И. Леонтьев¹

¹ All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia, gleb_kozlov@karpinskyinstitute.ru✉

² Geophysical Research and Production Enterprise “Aerogeofizika”, Moscow, Russia

³ Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia



Acknowledgments: the authors express their gratitude to E. L. Gruzova and O. A. Yakovleva from the Central Analytical Laboratory, staff members of the Department of Metallogeny and Geology of Mineral Deposits and Department of Regional Geology and Mineral Resources of the North of Siberia at the All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpin'sky, to staff members of the Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements and Vilyuy geological exploration expedition of PJSC "ALROSA", who participated in field work and data processing, as well as to A. Yu. Kolesnik and A. V. Chumakov for valuable recommendations and assistance in data processing.

For citation: New prospects for primary diamond potential in the Namana-Sinsk region, Republic of Sakha (Yakutia) / G. A. Kozlov [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (4): 130–147. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_104_130-147

Abstract. The paper presents new data of primary diamond potential in the northwestern Aldan province (within the Chara-Sinsk zone). The authors describe the geological structure, pattern, and features of various transformants and anomalous geophysical fields. They all are ranked by time, the occurrence characteristics, and kinematics. There are identified fault systems expected to control the kimberlite field location. The findings specify heavy mineral concentrate sampling, morphological and microprobe analysis data of kimberlite indicator minerals. They are considered as criteria and signs of primary diamond potential, along with modeling the potential area position of kimberlite magmatism and intermediate reservoirs. The data of morphology, composition, preservation rate of kimberlite indicator minerals in the area, as well as their distribution pattern demonstrate that their halos in the Myraya, Khatystyr, Markha, Markhachan, and other river valleys are confined to a single northeastern mineralogical field within the Chara-Olyokma segment of the Chara-Sinsk zone. Here the potential kimberlite field can be located in the articulation area of the Chara-Sinsk zone and younger northwestern strike-slip in the Namyldilakh River valley.

ВВЕДЕНИЕ

Основным источником добычи и поиска алмазов в России является Якутская алмазоносная провинция [1], в пределах которой выявлено более 1100 кимберлитовых тел. Однако многие исследователи обосновывают актуальность вовлечения в поисковые работы новых площадей за ее пределами. С открытием в 2007–2009 гг. юго-восточнее г. Якутск Хомпу-Майского кимберлитового поля¹ [2] значительное внимание привлекла площадь Намана-Синского потенциального алмазоносного района, а именно его западная часть — Чаро-Синская зона, геологическое строение которой аналогично Вилюйско-Мархинской зоне разломов¹ [2–12].

В пределах этой территории до настоящего времени проводились только легкие ревизионные работы, лишь в единичных случаях включавшие мелкообъемное опробование основных водотоков. В результате были установлены слабоконтрастные ореолы минералов-индикаторов кимберлитового магматизма (далее — ИМК), обнаружены два обломка кимберлита в мелкообъемных пробах из фракции $-2/+4$, а также единичный алмаз в аллювии р. Марха¹ [3; 12].

Следует отметить, что имеющиеся на сегодня региональные глубинные предпосылки для Чаро-Синской зоны считаются благоприятными как для наличия и локализации кимберлитового магматизма девонского возраста, так и для возможности формирования алмазов на глубине [12]. К ним относятся: 1) приуроченность территории к Алданскому гранулито-гнейсовому террейну архейского возраста [13]; 2) благоприятная мощность литосферы (140–150 км), предположительно деламинированной в постдевонское время, которой соответствуют области максимального погружения поверхности Мохоровичча (42–44 км); 3) наличие зон размагничения и разуплотнения консолидированной земной коры, выделяемых в магнитном поле и поле силы тяжести, свидетельствующих о повышенной ее проницаемости; 4) низкий уровень теплового потока, с расположением территории в пределах приповерхностной

геотермы 30 мВт/м², вмещающей все алмазоносные кимберлиты Сибирской платформы².

На площади листа известна только одна находка алмаза, выявленная в рамках работ 2000–2003 гг.³ Алмаз выявлен жирами при просмотре концентрата на базе экспедиции в п. Айхал. Кристалл из класса $-2+1$ мм весом 6,9 мг представлен ромбододекаэдром V разновидности (по Ю. Л. Орлову), двойник серого цвета, переполненный включениями графита.

По мнению большинства исследователей, имеющиеся материалы² не позволяют отчетливо оконтурить ореолы ИМК и дать достоверную прогнозную оценку территории. По результатам работ НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) и Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского (далее — Институт Карпинского) в 2021 г. было высказано предположение об основной кимберлитоконтролирующей роли определенных разрывных нарушений Чаро-Синской зоны северо-восточного простирания, известных как «грабен Бору» — сложной линейной системы сбросов и взбросов девонского заложения, названной по одноименной реке [14; 15].

Дискуссионный характер потенциала коренной алмазоносности обуславливает необходимость полноценного выявления критериев и предпосылок кимберлитового магматизма с применением актуальных методов исследования и детализации положения прогнозируемых кимберлитовых полей.

В 2023–2025 гг. сотрудники Института Карпинского совместно с АО «Геофизическое научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика» и Институтом минералогии, геохимии и кристаллохимии

¹ Смелов А. П. Якутия прирастает кимберлитами // Наука из первых рук. 2009. № 2. С. 12–13.

² Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе : метод. пособие / И. В. Серов [и др.]. Мирный : Алроса, 2020. 155 с.

³ Отчет о результатах изучения остаточных перспектив коренной алмазоносности Далдынского кимберлитового поля в 2000–2003 гг. / М. Я. Фолисевич [и др.] // Росгеолфонд, 2003. № 43536.

редких элементов (далее — ИМГРЭ) в рамках работ по оценке изученности территории провели совместные исследования, включавшие шлиховое, в том числе укрупненное опробование аллювиальных отложений, аэрогеофизическую съемку масштабов 1:50 000–1:25 000 с геологическими полевыми маршрутами. В результате были определены потенциальные кимберлитоконтролирующие структуры, выявлены новые находки ИМК в аллювиальных отложениях площади, а также эксплозивные брекчи ультрабазитов. Эти материалы легли в основу данной статьи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу работы положены материалы полевых и аэрогеофизических работ 2023–2025 гг., полученные в рамках составления комплекта геологической основы листов Госгеокарты Р-51-ХХVI и Р-51-ХХVII. Аэрогеофизические исследования проводились при помощи аэрофизической станции, включающей магнитный, гравиметрический, электромагнитный, гамма-спектрометрические, навигационный, регистрирующий блоки и радиовысотомер. В качестве авианосителя применялся самолет АН-3Т.

Химический состав пород на петрогенные элементы определен рентгеноспектральным флуоресцентным методом (XRF) на приборе ARL-9800 в Центральной аналитической лаборатории Института Карпинского (всего 75 измерений).

Полевые работы включали шлиховое опробование основных водотоков. Объем проб составлял от 40 до 300 л. Собранный материал в процессе камеральной обработки подвергался минералогическим исследованиям: рассеву шлиховых проб по классам крупности и гидросепарации, проведению полуколичественного минералогического анализа, описанию морфологии минералов, определению состава ИМК с помощью электронно-зондовых исследований и обработке полученных результатов. Пробоподготовка проводилась по стандартной методике в центральных аналитических лабораториях Института Карпинского, Вилюйской геологоразведочной экспедиции АК «АЛРОСА» (ПАО) и ИМГРЭ. Общий объем опробования составил более 603 рядовых (20–40 л) и 85 укрупненных проб (100–300 л).

Изучение состава ИМК произведено методом рентгеноструктурного фазового анализа (1350 измерений) на электронном микроскопе-микроанализаторе модели MV 2300 с энергодисперсионным микроанализатором LINK Pentafet (Oxford Instruments) в Центре изотопных исследований Института Карпинского (аналитик Е. В. Грузова).

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

Рассматриваемая территория относится к юго-восточной части Сибирской платформы и характеризуется простым геологическим строением (рис. 1). В строении принимают участие терригенно-карбонатные и карбонатные, в том числе солеродно-лагунные

отложения венд-раннепалеозойского комплекса, полого падающие в северо-западном направлении, вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы среднего–верхнего девона, а также терригенные континентальные и прибрежно-морские отложения ранней юры [14].

К нижнему структурному этажу приурочены породы венд-раннепалеозойского возраста, включающие доломиты, глинистые доломиты, гипсы и ангидриты билирской, юргинской, нелбинской и эльгянской свит нижнего кембрия, сменяющиеся доломитами, водорослевыми доломитами и мергелями толбачанской свиты и известняками коричнево-серыми олекминской свиты нижнего кембрия. Выше залегают массивные и брекчевые доломиты чарской и ичерской свит, водорослевые и брекчевые доломиты метегерской свиты нижнего–среднего кембрия, доломиты, алевролиты и аргиллиты бордонской, джукинской, чаргольской свит, а также серые доломиты точильнинской свиты среднего кембрия — нижнего ордовика.

Средний структурный этаж занимают локально развитые в северо-западной части площади базальты, трахибазальты, андезиты, песчаники, алевролиты, гравелиты и иные терригенные и терригенно-карбонатные породы наманинской и хайлахской свит среднего–верхнего девона.

Верхний структурный ярус сложен конгломератами, песчаниками, песками полимиктовыми до мезомиктовых укугутской свиты, плащеобразно перекрывающими породы среднего и нижнего ярусов, развитые на площади.

В структурно-тектоническом плане площадь относится к зоне сочленения трех региональных структур: северо-западного склона Алданской антиклизы, восточного борта Берёзовского прогиба и южного борта Вилюйской синеклизы. Рассматриваемая область в девонско-раннекаменноугольное время была вовлечена в процессы континентального рифтогенеза, приведшего к формированию Палеовилюйской грабен-рифтовой системы [14; 16–19]. Ее образование отразилось не только на общем структурном плане площади, обусловив пологое на востоке и кроткое на западе падение породных комплексов чехла платформы при закономерном росте их мощности, но и в формировании покровов вулканитов, систем разрывных нарушений и дайковых комплексов.

Широко развитые на площади дайки чаро-синского комплекса относятся ко 2-й и 3-й фазам внедрения и представлены долеритами, габбродолеритами, дифференцированными до монцогаббродолеритов, сиеногаббро и редко до гранодиоритов. Дайки имеют как простой, так и сложный состав. Размещение магматических образований контролируется системами крупных разломов северо-восточного простирания (10–40°). Протяженность магматических тел составляет 1–100 км (максимально до 500 км), мощность — 5–60 м. Позднедевонский возраст чаро-синского комплекса надежно установлен изотопными методами в ряде работ [14; 16; 17].

Как можно увидеть, геолого-структурная позиция площади практически зеркальна таковой

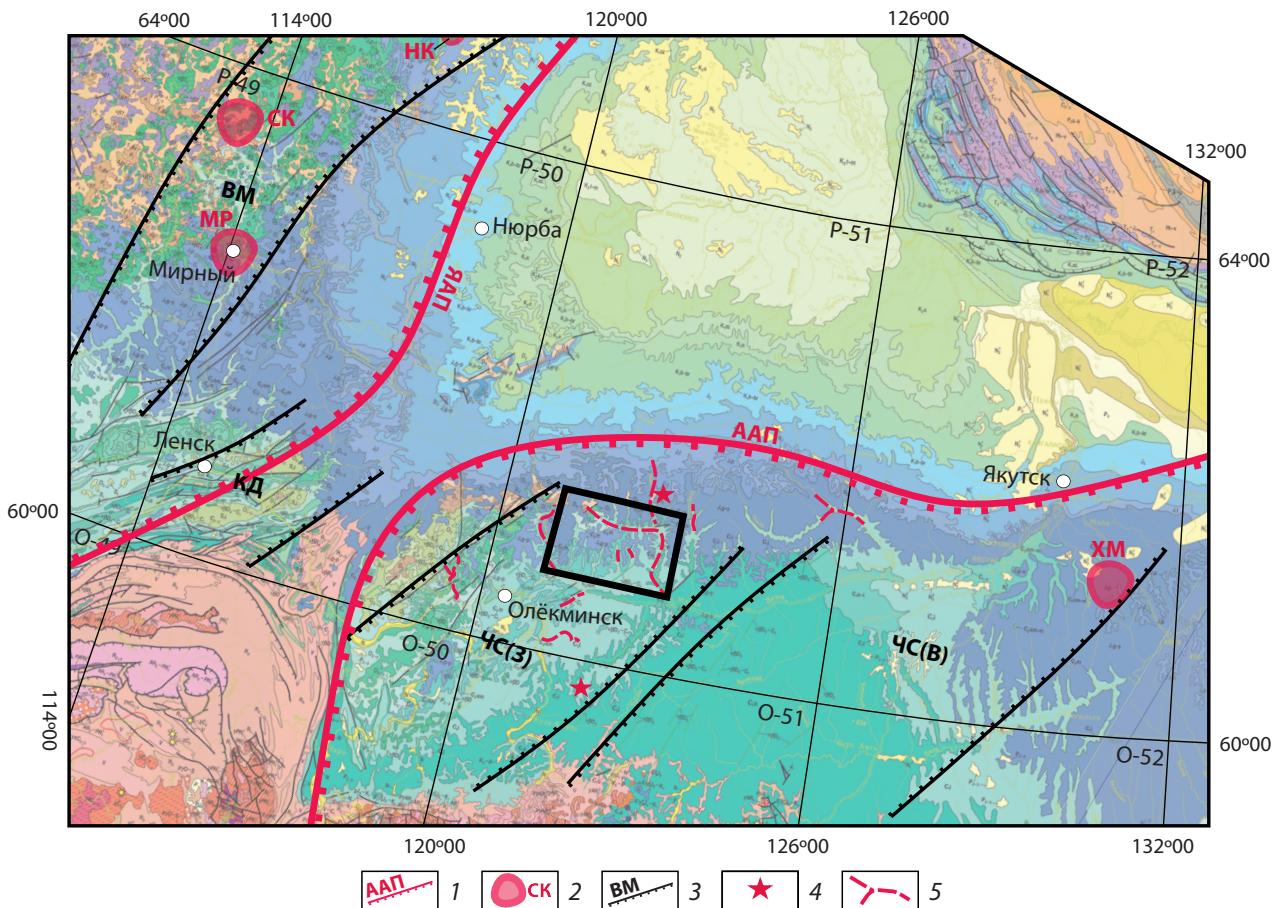


Рис. 1. Фрагмент карты строения юго-восточной части Сибирской платформы

1 — контуры алмазоносных провинций: ААП — Алданская, ЯАП — Якутская; 2 — кимберлитовые поля: МР — Мирнинское, СК — Сильтюкарское, НК — Накынское, ХМ — Хомпу-Майское; 3 — тектонические зоны: ВМ — Вилюйско-Мархинская, КД — Контайско-Джербинская, ЧС(3) — Чаро-Синская, западная ветвь, ЧС(В) — Чаро-Синская, восточная ветвь; 4 — места находки алмазов; 5 — ореолы индикаторных минералов кимберлита в аллювиальных отложениях. Чёрным прямоугольником отмечена область исследования

Fig. 1. Fragment of the southeastern Siberian platform structure map

1 — diamond-bearing province outlines: ААП — Aldan, ЯАП — Yakut; 2 — kimberlite fields: МР — Mirny, СК — Syuldukar, НК — Nakyn, ХМ — Khompu-May; 3 — tectonic zones: ВМ — Vilyuy-Markha, КД — Kontayka-Dzherba, ЧС(3) — Charo-Sinsk, western branch, ЧС(В) — Charo-Sinsk, eastern branch; 4 — diamond discovery locations; 5 — halos of kimberlite indicator minerals in alluvial deposits. The black rectangle indicates the study area

Вилюйско-Мархинского междуречья. Наманинская и хайлахская свиты являются аналогом апанинской и вилюйчанской свит, а широко развитый на площа-ди чаро-синский дифференцированный комплекс — аналогом вилюйско-мархинского дифференцированного комплекса.

Основной объем индикаторных минералов кимберлитов выявлен в аллювии рек Намана и Марха, а также Намыльдилах и Мархачан, дренирующих северо-западный фланг Чаро-Синской зоны разломов [11; 12; 14]. Исходя из данных предшественников, предполагалось продолжение данных ореолов в западном направлении — в среднее течение р. Намыльдилах, а также на север — вверх по тече-нию ее притока р. Бору. Именно на этом участке располагается наиболее выраженная в структурах геологического строения и геофизических данных зона разрывных нарушений северо-восточного про-стириания с проявленной сбросовой и сдвиговой

кинематикой — так называемый «грабен Бору», которому придается основное кимберлитокон-тролирующее значение [12; 14].

Следует отметить, что полевые геологические маршруты позволили установить, что в осевой части зоны грабена на дневной поверхности наблюдается увеличение мощности юрских отложений до 100 м, которые в виде узкой линейной зоны (ширина около 15 км при протяженности до 80 км) обнажаются на дневной поверхности в русле рек Намыльдилах, Бору, Туйодах и их притоков.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выявленные особенности геологического строения территории, включая результаты геофизи-ческих и минералогических исследований, позволяют по-новому оценить их роль в качестве средне-

и крупномасштабных предпосылок для выявления и локализации ареалов кимберлитового магматизма девонского возраста.

Среднемасштабные геофизические предпосылки

Особенности пространственного размещения и кинематики разрывных нарушений и ассоциированных с ними базитовых интрузивов являются одной из основных составляющих прогнозно-поисковых моделей кимберлитового магматизма, установленных для территории Якутской алмазоносной провинции. Во всех применяемых прогнозно-поисковых моделях положение кимберлитовых зон, районов, полей и кустов связывается с зонами глубинных разломов¹ [20] и дайковых роев, формирующих так называемую «базитовую раму». Результаты проведенных аэрогеофизических исследований и анализа дистанционных данных позволили в значительной мере расширить и дополнить представления о геологическом строении территории, в частности — установить значительно более активную проявленность разрывных нарушений и классифицировать их по возрасту и кинематике.

Большинство разрывных нарушений, ранее выделенных по данным сейсморазведки, уверенно отражаются в геофизических полях, маркируя границы блоков фундамента, сложенных породами с разной степенью намагниченности и плотности. Наиболее древние разрывные нарушения, имеющие дофанерозойское заложение, группируются в две системы (рис. 2), обуславливающие общую северо-западную ориентировку структурно-вещественных комплексов фундамента.

В первую очередь, это система крупного Верхне-Амгинского разлома, прослеживаемая на юго-восток вплоть до Алданского щита, и ряд симметричных ей систем разрывных нарушений. Им противопоставлена система разрывных нарушений северо-восточного простирания, включающая Наманинский, Русско-Реченский, Хара-Балыкский и Черепанихский разломы. Данная система нарушений имеет наложенный характер на систему северо-западного простирания, что выражается в проявлении сдвиговых дислокаций.

Потенциально кимберлитолокализующие разрывные нарушения девонского возраста в большинстве залечены дайками чаро-синского комплекса,

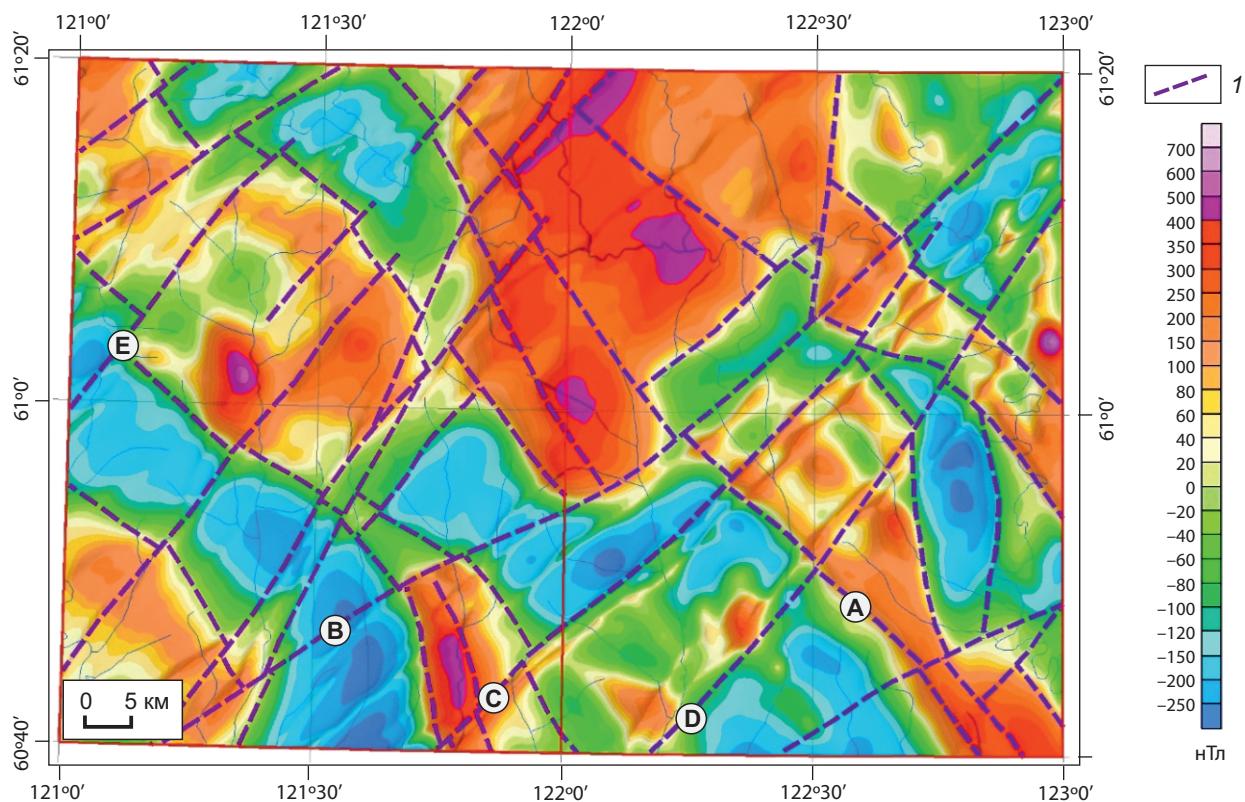


Рис. 2. Схема интерпретации глубинного строения территории на основе данных магниторазведки

1 — разрывные нарушения; цветовая подложка — модель аналитического продолжения магнитного поля вверх на 500 м; разломы: А — Верхне-Амгинский, В — Наманинский, С — Русско-Реченский, Д — Хара-Балыкский, Е — Черепанихский

Fig. 2. Deep structure interpretation diagram based on magnetic survey data

1 — faults; the colored background reflects the model of magnetic field continuation upward by 500 m; faults: A — Verkhnyaya Amga, B — Namana, C — Russkaya Rechka, D — Khara-Balyk, E — Cherepanikha

¹ Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе : метод. пособие / И. В. Серов [и др.]. Мирный : Алроса, 2020. 155 с.

в связи с чем весьма отчетливо проявляются в материалах магниторазведки в виде системы линейных магнитных аномалий северо-восточного простирания на всей площади.

Суммарно выделяется более 45 самостоятельных разломов, проявленных в виде серий линейных структур, преимущественно группирующихся в системы кулисообразных аномалий (сегменты Чаро-Синской зоны), шириной 10–15 км (рис. 3). На северо-западе это Эбе-Тасский сегмент, прослеживаемый в верховьях р. Намыльдилах, Наманинский сегмент, прослеживаемый в устье одноименной реки, Чара-Олекминский сегмент, прослеживаемый в устье рек Намыльдилах и Туолбачанский сегмент, прослеживающийся в устьевую часть долины р. Марха [14].

Наблюдаются незначительные различия в пространственной ориентировке роев аномалий. При общем северо-восточном простирании под углами 40–45° в центральной части площади, в долине р. Бол. Русская и далее в район р. Бору, отмечаются

три отдельных роя, простирающихся под углами 20–23°, меняющих ориентировку на северо-восточную к району долины р. Намыльдилах.

Такая морфология тел может быть обусловлена тем, что девонские разломы частично наследуют и ремобилизуют структуры фундамента, а именно — группу разломов северо-западного простирания и конседиментационные разломы, заложенные еще при формировании флексурной структуры (Наманинский выступ) в северо-западной оконечности Алданской антеклизы. Кроме того, в локальной составляющей магнитного поля отчетливо проявилась система более молодых разломов субмеридионального простирания в долинах рек Бору и Хороннох, ранее не устанавливавшаяся на площади, также залеченная дайками основного состава, не выходящими на поверхность.

Наконец, на разрывные нарушения Чаро-Синской зоны наложены мелкоамплитудные разломы сдвигового и сбросо-сдвигового характера протяженностью менее 10 км. Учитывая характер

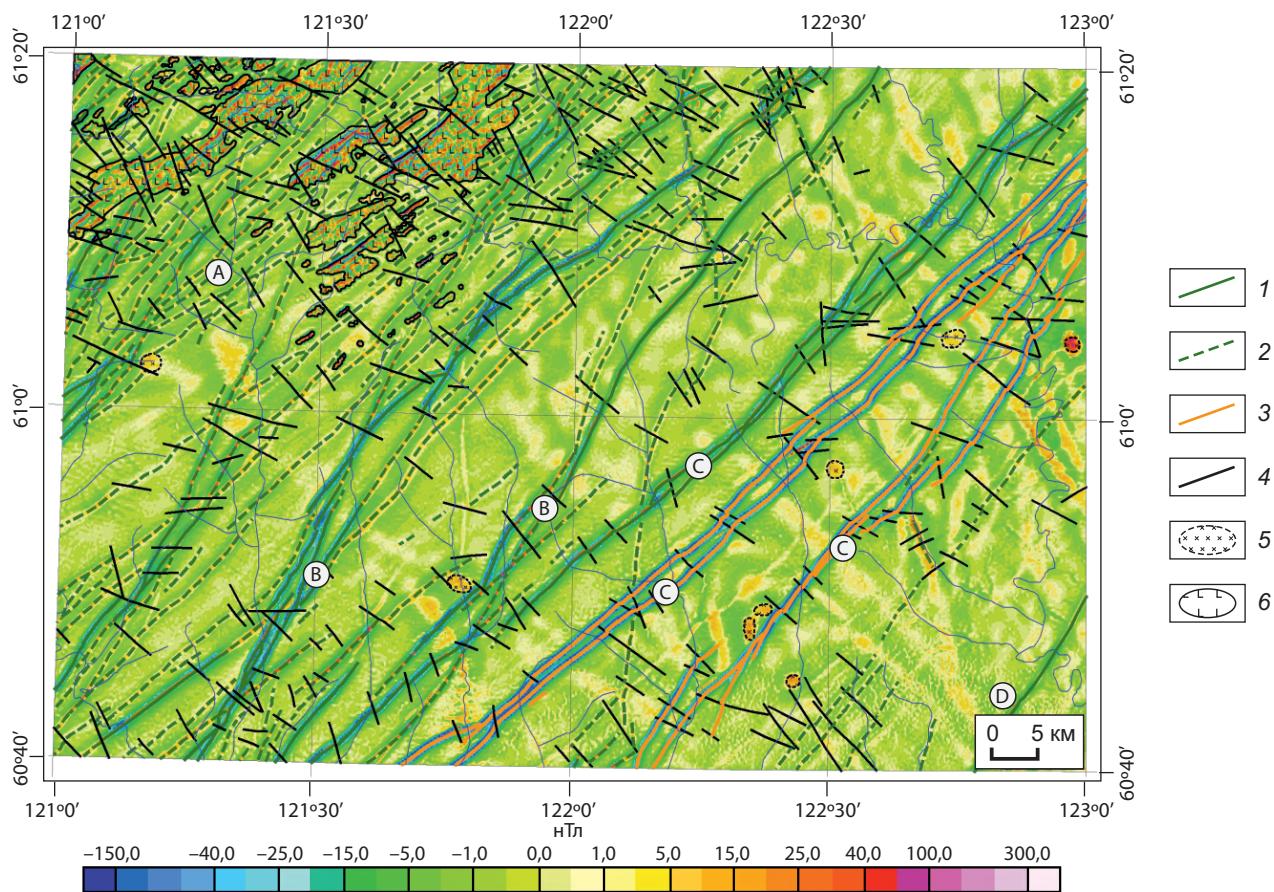


Рис. 3. Отражение линейных структурно-тектонических элементов в локальной составляющей магнитного поля

1–3 — разрывные нарушения Чаро-Синской зоны, залеченные позднедевонскими дайками: 1, 2 — дайки с преобладанием долеритов; 1 — близповерхностные, 2 — глубокого залегания; 3 — близповерхностные дайки с преобладанием сиенитов; 4 — разрывные нарушения сдвигового типа; 5 — погребенные штоки сиенитов; 6 — поля базальтов. Сегменты Чаро-Синской зоны: А — Эбе-Тасский, В — Наманинский, С — Чара-Олекминский, Д — Туолбачанский

Fig. 3. Reflection of linear structural and tectonic elements in the local magnetic field

1–3 — Chara-Sinsk zone faults filled with the Late Devonian dykes: 1, 2 — dolerite-dominant dykes: 1 — shallow, 2 — deep; 3 — shallow syenite-dominant dykes; 4 — strike-slip faults; 5 — buried syenite stocks; 6 — basalt fields. Chara-Sinsk zone segments: A — Ebe-Tas, B — Namana, C — Chara-Olyokma, D — Tuolbachan

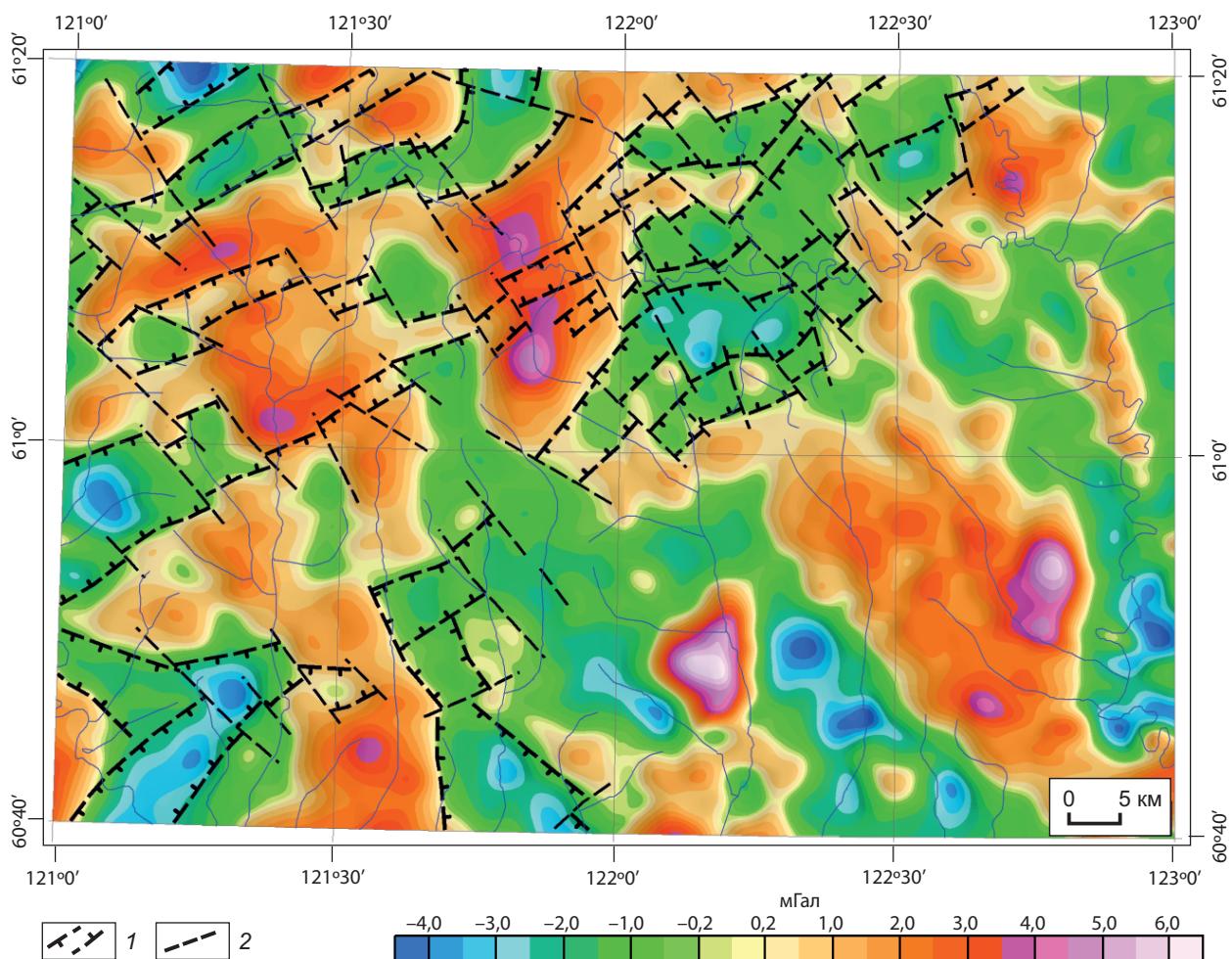


Рис. 4. Положение контуров грабенообразных структур в локальной составляющей поля силы тяжести

1 — контуры грабенообразных структур; 2 — сдвиговые нарушения северо-западного простирания

Fig. 4. Location of graben-shaped structure contours in the local gravity field

1 — graben-shaped structure contours; 2 — northwestern strike-slip faults

глубинного строения и особенности разломной тектоники Накынского и Мирнинского кимберлитовых полей, именно зоны сочленения данных структур контролируют положение кимберлитовых полей и отдельных трубок [15; 18].

«Грабен Бору», который отождествляется со сходными по строению Западным, Параллельным и Центральным грабенами Вилюйско-Мархинской зоны¹ [12; 13], отчетливо выделяется по данным гравиразведки. Он имеет сложный, ступенчатый характер вертикальных перемещений и дислоцирован по системе сдвиговых нарушений северо-западного простирания (рис. 4). Характерно, что эти нарушения корреспондируют с аналогичными дислокациями, выделенными по данным магниторазведки, что повышает достоверность интерпретации.

Судя по полученным данным, ось грабена располагается в 10–20 км юго-восточнее, чем это было отмечено на картах предшественников. Ориентировка структур грабена соответствует простиранию Чаро-Синской зоны разломов, что свидетельствует об их парагенетической связи. Грабен имеет весьма

сложную форму, в целом практически не прослеживается к западу от широты 122°, а в наибольшей степени проявлен к югу от долины р. Намыльдилах.

Минералогические предпосылки

Область развития ИМК в пределах площади оконтуривается в так называемое Намана-Мархинское минералогическое поле, объединяющее долины рек Намана, Марха, Намыльдилах и Мархачан. ИМК территории характеризуются существенно пироп-хромшпинелид-пикроильменитовой ассоциацией с преобладанием зерен III–IV класса сохранности размером преимущественно менее 1 мм (рис. 5).

Они формируют устойчивые, но разобщенные группы ореолов в аллювии рек Намыльдилах и Марха, где ореол разделяется на две сходящиеся ветви. В целом корни данных ореолов пространственно тяготеют к зоне «грабена Бору», однако на участках,

¹ Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе : метод. пособие / И. В. Серов [и др.]. Мирный : Алроса, 2020. 155 с.

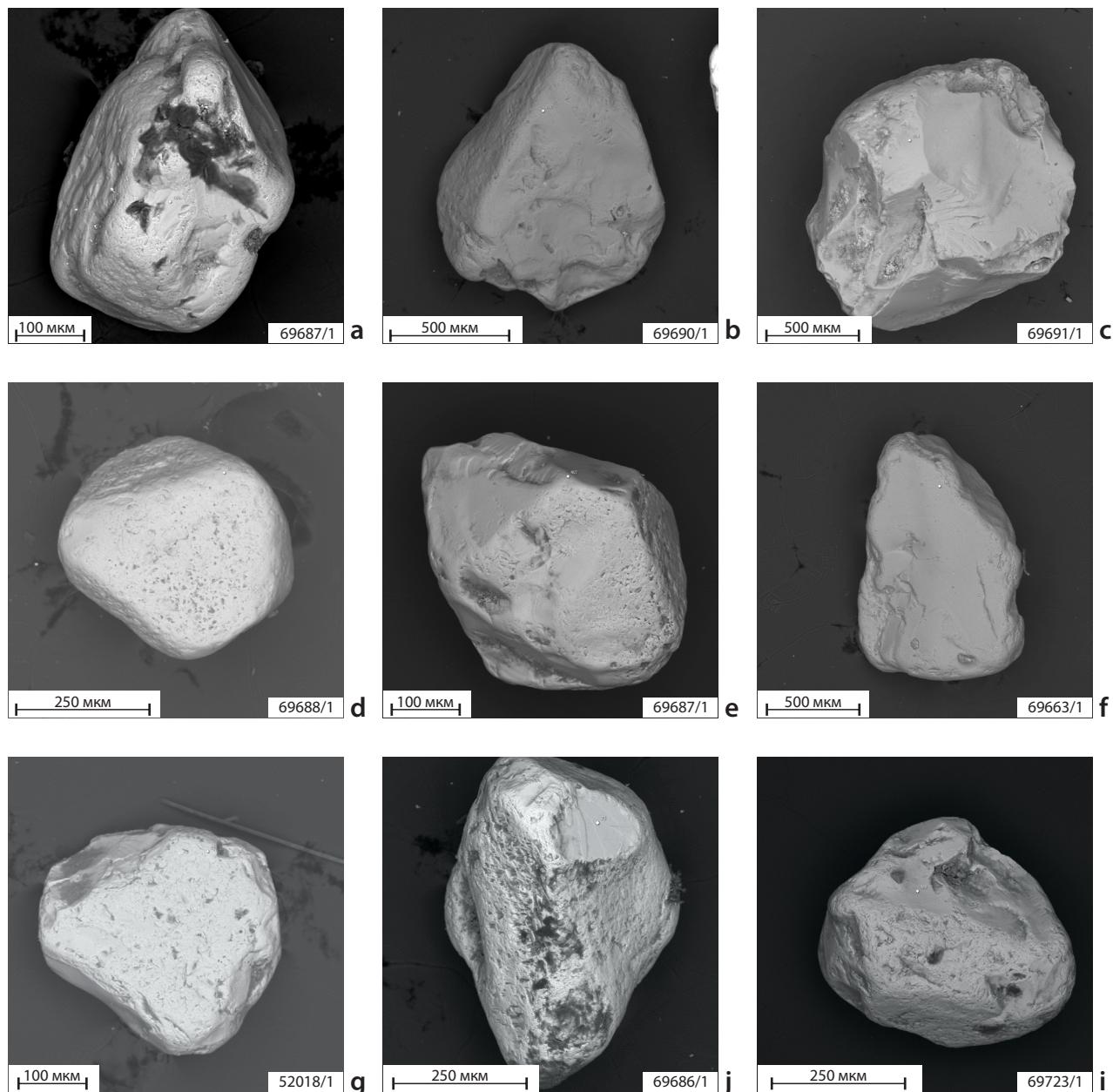


Рис. 5. Электронные микрофотографии индикаторных минералов кимберлитов Чаро-Синской зоны

а–с — пиропы; д–f — пикроильмениты; г–i — хромшпинелиды

Fig. 5. Electron micrographs of the Chara-Sinsk zone kimberlite indicator minerals

а–с — pyrope; д–f — picroilmenite; г–i — chromespinelide

где реки дренируют данную структуру, аллювий на ИМК не опробовался.

Все изученные минералы характеризуются сходной морфологией. Пиропы представлены в основном фиолетовыми и лиловыми разновидностями. Зерна имеют изометричную, неправильную форму, размеры их до 1 мм. Из первичных поверхностей встречаются матированная и ямчатая, реже шероховатая. У 40% зерен отмечаются реликты первичной поверхности кристаллов со следами растворения в виде углублений и ямок.

Келифитовые каймы — оторочки радиально-лучистого строения, образующиеся при воздействии

на гранат флюидонасыщенного кимберлитового расплава, — в большинстве случаев отсутствуют. Для большей части зерен характерен IV–III класс окатанности при единичных зернах II класса в виде изношенных разностей со слаженными углами и ребрами, овальной или неправильной формой и тонкошероховатой поверхностью со множеством отполированных граней.

Пикроильменит представлен зернами изометричной, овальной и неправильной формы размером до 1 мм. Наблюдается он в виде округлых и угловато-округлых, редко остроугольных обломков и целых зерен. Видны остатки первичной бугорчатой

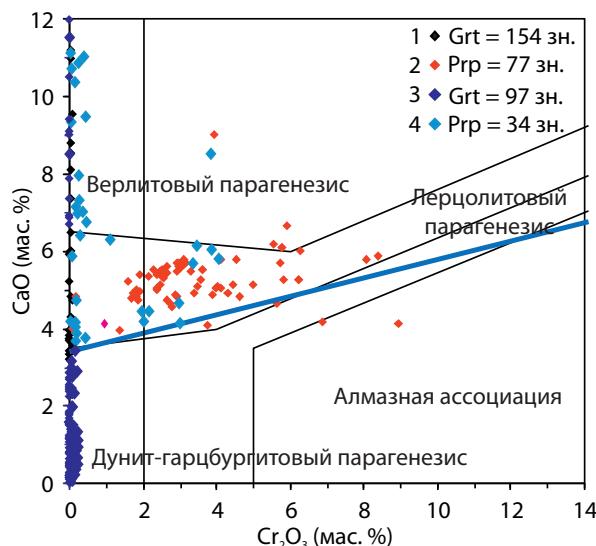


Рис. 6. Особенности составов гранатов Чаро-Синской зоны (диаграмма Н. В. Соболева)

Grt — гранат; Prp — пироп

Источник: по [21]; фигуративные точки 1, 2 — по [4; 12]

Fig. 6. Compositional features of the Chara-Sinsk zone garnet (diagram by N. V. Sobolev)

Grt — garnet; Prp — pyrope

Source: from [21]; figurative points 1, 2 — from [4; 12]

поверхности (особенно в пробах из аллювия р. Марха), реже — реликты матированных граней. Степень износа также преимущественно III–IV. В ходе работ в пробах из аллювия р. Марха было выявлено значительное количество ильменитов с микропирамидальной поверхностью (типа «ежики») I класса сохранности. Результаты определения состава показали, что они относятся к простым ильменитам.

Хромшпинелиды представлены окружными, реже октаэдрическими зернами, а также зернами неправильной угловатой формы и их обломками размером до 1–2 мм. Весьма редко наблюдались единичные сростки и мириоэдрические изношенные зерна. Преобладают октаэдры с сильно закругленными ребрами и вершинами, частично колотые, с гладкой блестящей или слабокорродированной поверхностью. Хромшпинелиды класса ~0,25 мм слабоокатанные, с притупленными ребрами и вершинами, поверхность гладкая блестящая или слабокорродированная.

В целом все зерна ИМК имеют «признаки древности» в форме различного, в большей степени среднего износа и гипергенной коррозии после износа, что может свидетельствовать о среднепалеозойском возрасте их коренных источников и длительной истории пребывания в промежуточных коллекторах.

Таким образом, для территории Чаро-Синской зоны разломов за период с 2006 по 2024 г. получены относительно представительные выборки ИМК, для которых выполнен микрорентгеноспектральный анализ, включая 231 пироп, 739 пикроильменитов и 575 хромшпинелидов [12].

В рамках текущих работ нами изучен состав 133 зерен граната, 114 зерен ильменита и 61 зерна хромшпинелида.

Полученные данные в целом сопоставимы с результатами предшественников. В аллювии рек территории распространены гранаты, соответствующие по классификации Н. В. Соболева [21] верлитовому парагенезису (доля в выборке составила 10,8%), лерцолитовому парагенезису (13%) и эклогитовому парагенезису (75%). Гранаты гарцбургитового парагенезиса и его алмазной ассоциации нами не установлены (рис. 6).

Пикроильмениты характеризуются широкими вариациями содержания TiO_2 (от 39 до 56%), Cr_2O_3 (0,01–4,8%) и умеренными содержаниями MgO (от 4 до 15%). На диаграмме MgO/TiO_2 (рис. 7, a) большая часть фигуративных точек соответствует ильменитам (68 точек), а в поле пикроильменитов кимберлитового типа попадает более 82% точек. На диаграмме Fe_2O_3/MgO (рис. 7, b) подавляющая часть выборки располагается в поле отсутствия сохранности алмазов или их плохой сохранности. В полях значений умеренной и хорошей сохранности попадают только 5 фигуративных точек. При этом следует отметить достаточно высокое содержание Fe_2O_3 относительно TiO_2 и MgO в пикроильменитах площади, ранее не фиксированной предшественниками.

На диаграмме А. Е. Мура и Д. Дж. Шульца с параболой С. Е. Хаггерти [22–24] наблюдается тренд в сторону расположения большей части точек составов пикроильменитов в область восстановительных условий, необходимых для сохранности алмазов (рис. 7, c). Фигуративные точки составов простых ильменитов тяготеют преимущественно к левой ветви «параболы Хаггерти» и к нижней части правой ветви, а также образуют обособленную группу точек, отвечающую низкохромистым и низкомагнезиальным составам.

Состав хромшпинелидов варьирует в широких пределах: от хромшпинели до высокохромистых пикрохромитов, при этом в основном оставаясь в «некимберлитовых» пределах (рис. 8, 9). На диаграммах Н. В. Соболева [21] видно, что основной объем фигуративных точек состава хромшпинелидов также относится к низкохромистым разновидностям; в область состава, соответствующую алмазной ассоциации, попадают 1,8% фигуративных точек. Большая часть выборки относится к полям хромшпинелевых дунитов и перидотитов, а также пироповых перидотитов и хромшпинелевых дунитов и перидотитов.

На диаграмме Р. Х. Митчелла [26] с полями С. Е. Хаггерти figurative точки составов хромшпинелидов в основном располагаются за пределами групп полей, частично располагаясь в поле кимберлитов и меймечитов, а на диаграмме С. Б. Смита [27] три значения из выборки попадают в поля сростков с алмазами, а два — в поле включений в алмазах (рис. 9).

По результатам работ был не только подтвержден характер ореола ИМК в долине рек Марха и Намыльдилах, но и выявлены новые находки на их

притоках и в верхнем течении. Содержание ИМК и разнообразие их состава в целом увеличиваются вверх по течению р. Марха, а также вверх по течению р. Намыльдилах к устью р. Бору. При этом важен факт наличия ИМК и в крупных левых притоках р. Марха — реках Куталах, Кусагай-Дойдулах.

Здесь, как и в долине р. Бору, где ореол ИМК оконтурен на всем ее нижнем течении, данные минералы диагностированы впервые. Важно отметить также находку пикроильменита в малом левом притоке р. Бору — р. Соголох, протяженностью менее 10 км. Наибольшие концентрации ИМК выявлены в двух

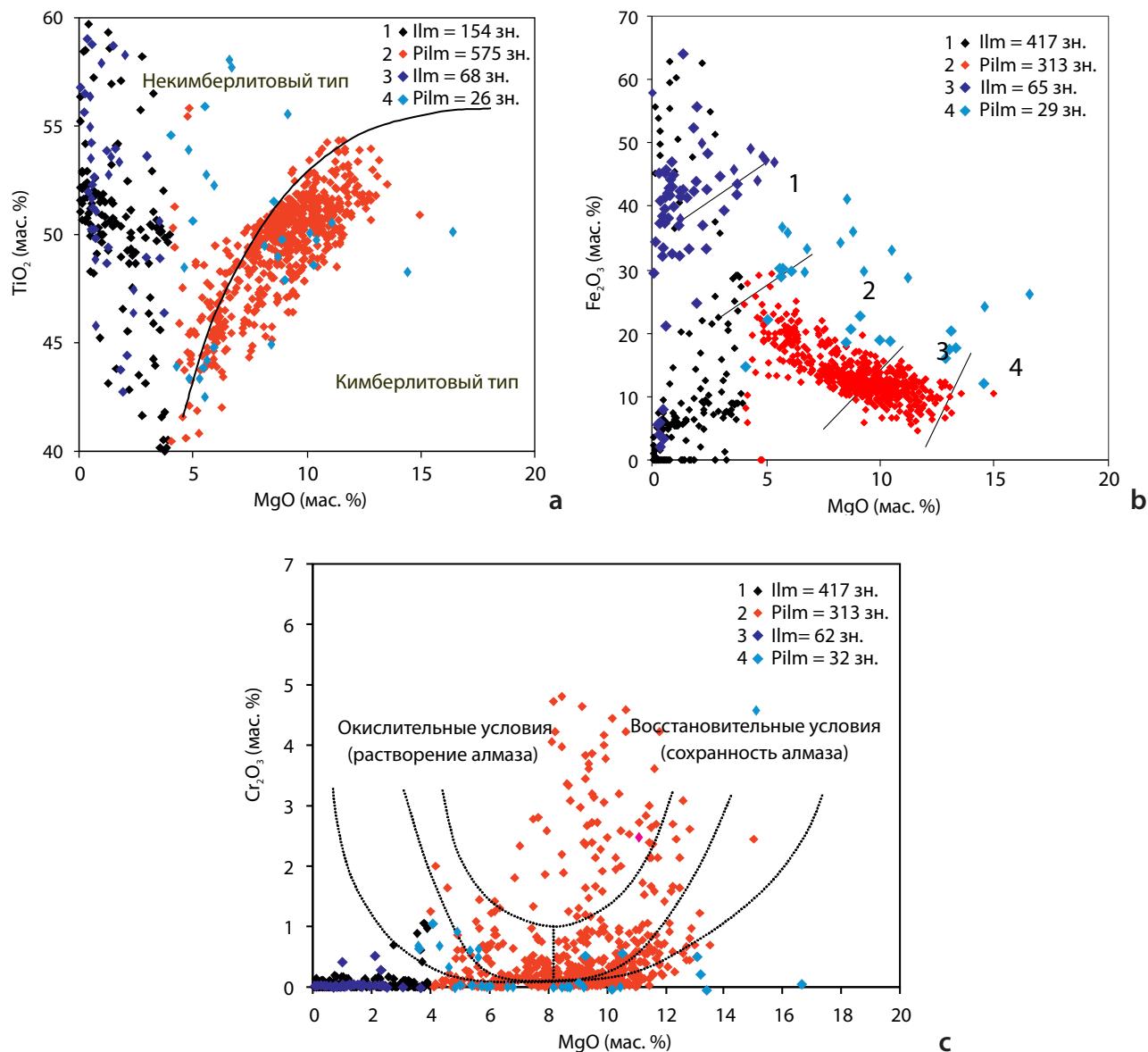


Рис. 7. Особенности состава ильменитов Чаро-Синской зоны

a — диаграмма И. П. Илупина, **b** — диаграмма А. Е. Мура и Д. Дж. Шульце, **c** — диаграмма Дж. Герни; поля индексов сохранности алмазов: 1 — алмазы не сохранились, 2 — сохранились плохо, 3 — умеренная сохранность, 4 — хорошая сохранность; Ilm — ильменит, $Pilm$ — пикроильменит

Источник: **a** — по*, **b** — по [22–24], **c** — по [25]; фигуративные точки 1, 2 — по [4; 12]

Fig. 7. Compositional features of the Charo-Sinsk zone ilmenite

a — diagram by I. P. Ilupin; **b** — diagram by A. E. Moore and D. J. Shultze; **c** — diagram by J. Gurney; fields of diamond preservation indices: 1 — not preserved, 2 — poorly preserved, 3 — moderately preserved, 4 — well preserved; Ilm — ilmenite, $Pilm$ — picroilmenite

Source: **a** — from**, **b** — from [22–24], **c** — from [25]; figurative points 1, 2 — from [4; 12]

* Илупин И. П., Ваганов В. И., Прокопчук Б. И. Кимберлиты : справ. М. : Недра, 1990. 248 с.

** Ilupin I. P., Vaganov V. I., Prokopchuk B. I. Kimberlites: Handbook. Moscow: Nedra; 1990. 248 p.

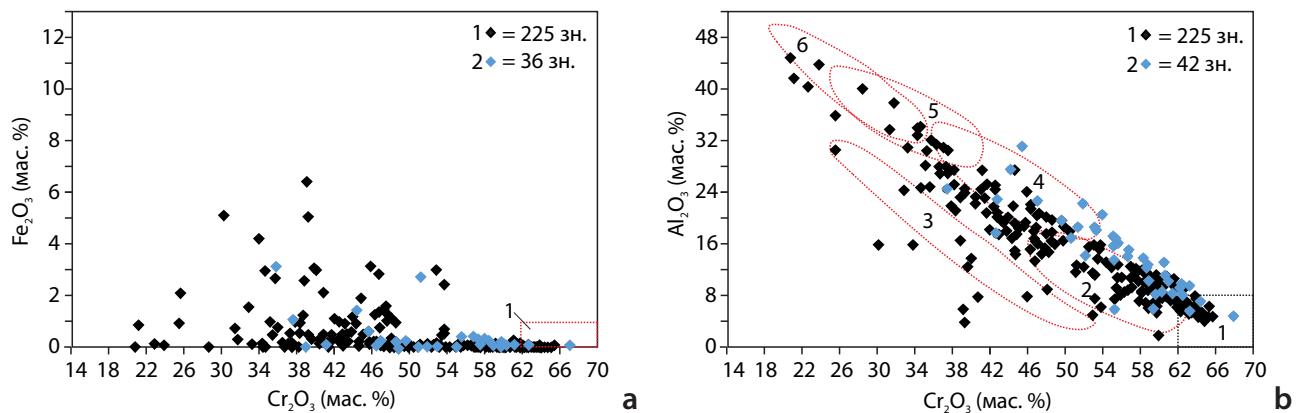


Рис. 8. Особенности состава хромшпинелидов Чаро-Синской зоны

a, b — диаграммы Н. В. Соболева; 1–6 — фации хромшпинелидов по типу геологической обстановки: 1 — алмаз-хромпироповая фация; 2 — коэситовая фация (пироповые перидотиты и хромшпинелевые дуниты и перидотиты); 3, 4 — гроспидитовая фация; 3 — пироповые перидотиты, 4 — катализированные хромшпинелевые дуниты и перидотиты; 5 — шпинель-пироповая субфация (гранатизированные шпинелевые перцолиты); 6 — шпинель-пироксеновая фация (шпинелевые перцолиты и дуниты)

Источник: **a, b** — по [21]; фигуративные точки 1 — по [4; 12]

Fig. 8. Compositional features of the Charo-Sinsk zone chromespinelide

a, b — diagrams by N. V. Sobolev; 1–6 — chromespinelide facies by the geological activity types: 1 — diamond and chrome-pyrope facies; 2 — coesite facies (pyrope peridotite and chromespinelide dunite and peridotite); 3, 4 — grosspydite facies: 3 — pyrope peridotite, 4 — cataclastic chromespinelide dunite and peridotite; 5 — spinel-pyrope subfacies (garnetized spinel Iherzolite); 6 — spinel-pyroxene facies (spinel Iherzolite and dunite)

Source: **a, b** — from [21]; figurative points 1 — from [4; 12]

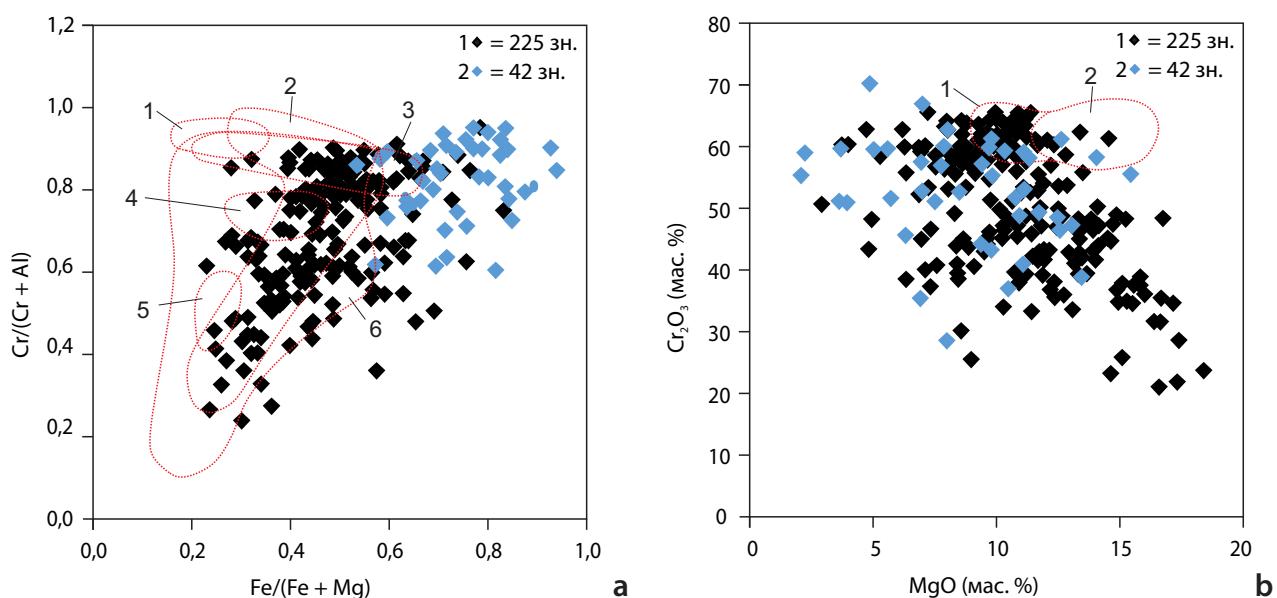


Рис. 9. Особенности состава хромшпинелидов Чаро-Синской зоны

a — диаграмма Р. Х. Митчелла с полями по С. Е. Хаггерти, поля: 1 — включения в алмазах, 2 — кимберлиты, 3 — меймечиты, 4 — коматиты, 5 — базальты срединно-океанических хребтов, 6 — ксенолиты из кимберлитов; **b** — диаграмма С. Б. Смита, поля: 1 — сростки с алмазами, 2 — включения в алмазах

Источник: диаграммы: **a** — по [22; 26], **b** — по [27]; figurative points — по [4; 12]

Fig. 9. Compositional features of the Charo-Sinsk zone chromespinelide

Diagram **a** — by R. H. Mitchell, with fields from S. E. Haggerty included, fields: 1 — inclusions in diamond, 2 — kimberlite, 3 — meimechite, 4 — komatiite, 5 — mid-ocean ridge basalt; diagram **b** — by S. B. Smith, fields: 1 — diamond intergrowths, 2 — inclusions in diamond

Source: diagrams: **a** — from [22; 26], **b** — from [27]; figurative points — from [4; 12]

точках в долине р. Намыльдилах: в устье р. Чабычахтах и в районе устья р. Тойон-Уялах.

Выше по течению шлиховой ореол ИМК, хотя и остается непрерывным, но резко обедняется. Преобладающим ИМК в аллювии выступает пикроильменит, содержание которого повсеместно превалирует над пиропом и хромшпинелидом, за исключением района устья р. Тойон-Уялах, где в пробах выявлено более 100 зерен хромшпинелида.

Однако абсолютно новые данные получены по результатам анализа проб из аллювия рек Хара-Балык, Илин-Юрях и Улахан-Улэгир, не относящихся к водосбору р. Марха, где ИМК также были выявлены впервые. По характеру, степени окатанности и особенностям состава они полностью сопоставимы с таковыми из аллювия рек Бору, Марха и Намыльдилах. При этом в долине р. Хара-Балык выявлены как пикроильмениты (в количестве более 15 зерен на пробу 200 л), так и пиропы с хромшпинелидами. Находки ИМК компактно укладываются здесь в полосу северо-западного простирания, в пределах площади развития дайковых образований Чаро-Синской зоны в долину рек Марха и Мархачан, где также выявлены зерна ИМК и найдены обломки базитовых брекчий и кимберлитов.

Магматические предпосылки

Среди нетрадиционных магматических и геохимических предпосылок и критерии наличия кимберлитового магматизма часто упоминается геохимическая специализация парагенетически связанных с кимберлитами дайковых комплексов на Ti и ряд высокозарядных и редкоземельных элементов (Th, Ta, Hf, Y, Nd, Tb, Gd), характерная для ареала кимберлитового магматизма Вилюйско-Мархинского комплекса¹ [28–30]. Считается, что увеличение содержания данных реперных элементов начинает фиксироваться на расстоянии 10–12 км от кимберлитового тела, достигая максимально отличных от типичных значений величин непосредственно вблизи него [29].

В пределах ареала развития интрузивов чаро-синского комплекса выделяется несколько таких участков: один в Чаро-Ленском междуречье (Эбе-Тасский сегмент), а второй на правобережье р. Лена против устья р. Синяя и у п. Тит-Ары (Усть-Синский и Курумканский сегменты) [12; 14; 17; 31], где содержание TiO₂ достигает от 4,5–5,0 до 10,0 вес. %. Нами в рамках работ проведен анализ состава 75 проб интрузивов чаро-синского комплекса. Содержание TiO₂ в них варьирует от 0,74 до 4,59 вес. % при медианном значении 1,69 вес. %. При этом только в 6 пробах содержание TiO₂ превышает 3,5 вес. %. Все эти пробы приурочены к монцогаббро и кварцевым диоритам дайки Северная в долине рек Хара-Балык и Марха, а также к дайке долеритов в районе устья р. Тойон-Уялах.

Более существенной магматической предпосылкой является наличие в пределах площади обломков вулканогенной брекции основного состава. Это весьма характерные посткимберлитовые образования, часто встречающиеся в ассоциации с полями кимберлитового магматизма [14; 18; 32; 33],

в частности, в пределах Накынского кимберлитового поля. Выявленные микробрекции на 70% состоят из обломков и на 30% из матрикса. В составе обломков преобладают обломки слабо раскристаллизованного вулканического стекла с гиалопорфировой текстурой, мелко-среднезернистыми фенокристаллами плагиоклаза (An49–72), реже разложенных пироксенов и железистого оливина. Черная стекловидная масса обломков цементируется схожей по составу, но бурой, интенсивно измененной стекловатой массой с мелкими лейстами игольчатого плагиоклаза, местами полностью замещенной хлорит-гидрослюдистой с карбонатом массой, отчего матрикс имеет насыщенный зеленый оттенок.

Развалы данных пород встречены в пределах зоны Чара-Олекминского сегмента близ устья р. Уот-Уоттор, в восточной части площади, почти в 40 км к юго-востоку от площади «грабена Бору». Породы в целом интенсивно ожелезнены. По содержанию петрогенных оксидов они соответствуют полю щелочных пикробазальтов.

Стоит также отметить широкое развитие брекций и прожилков кварц-кремнисто-карбонатного состава в объеме нижнепалеозойских осадочных породных комплексов, находки которых пространственно сопряжены с зонами разломов Чаро-Синской зоны, однако флюидоразрывной характер их происхождения и парагенетическая связь с процессами кимберлитового магматизма остаются неоднозначными.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные позволяют предположить, что кимберлитоконтролирующая роль «грабена Бору» как структуры, выраженной в рельефе [12] как в юрских, так и в палеозойских породах, не столь однозначна. Результаты ранее проведенных на площади работ, в том числе временные разрезы, показывают, что зоне грабена соответствует участок с резким ростом мощности юрских отложений (при этом доюрских породных комплексов старше верхнедевонских на площади не выявлено).

Как и предполагалось, ореол ИМК в аллювии р. Намыльдилах и р. Бору действительно прослеживается вверх по течению на десятки километров в зону грабена, однако при переходе в его контуры содержание зерен ИМК в аллювии падает до единичных значений, а в интервале течения р. Намыльдилах от устья р. Туойдах и далее на восток в полосе грабена данные минералы перестают фиксироваться (рис. 10). Максимальная концентрация ИМК (50–75 и более сотен зерен на пробу) наблюдается в аллювии р. Намыльдилах, непосредственно близ южной границы грабена. С одной стороны, это может быть связано с резкой сменой характера русла реки, где ниже по течению она дренирует раннепалеозойские карбонатные породы. На первом крупном перекате здесь формируются весьма благоприятные условия

¹ Прогнозирование и поиски коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе : метод. пособие / И. В. Серов [и др.]. Мирный : Алроса, 2020. 155 с.

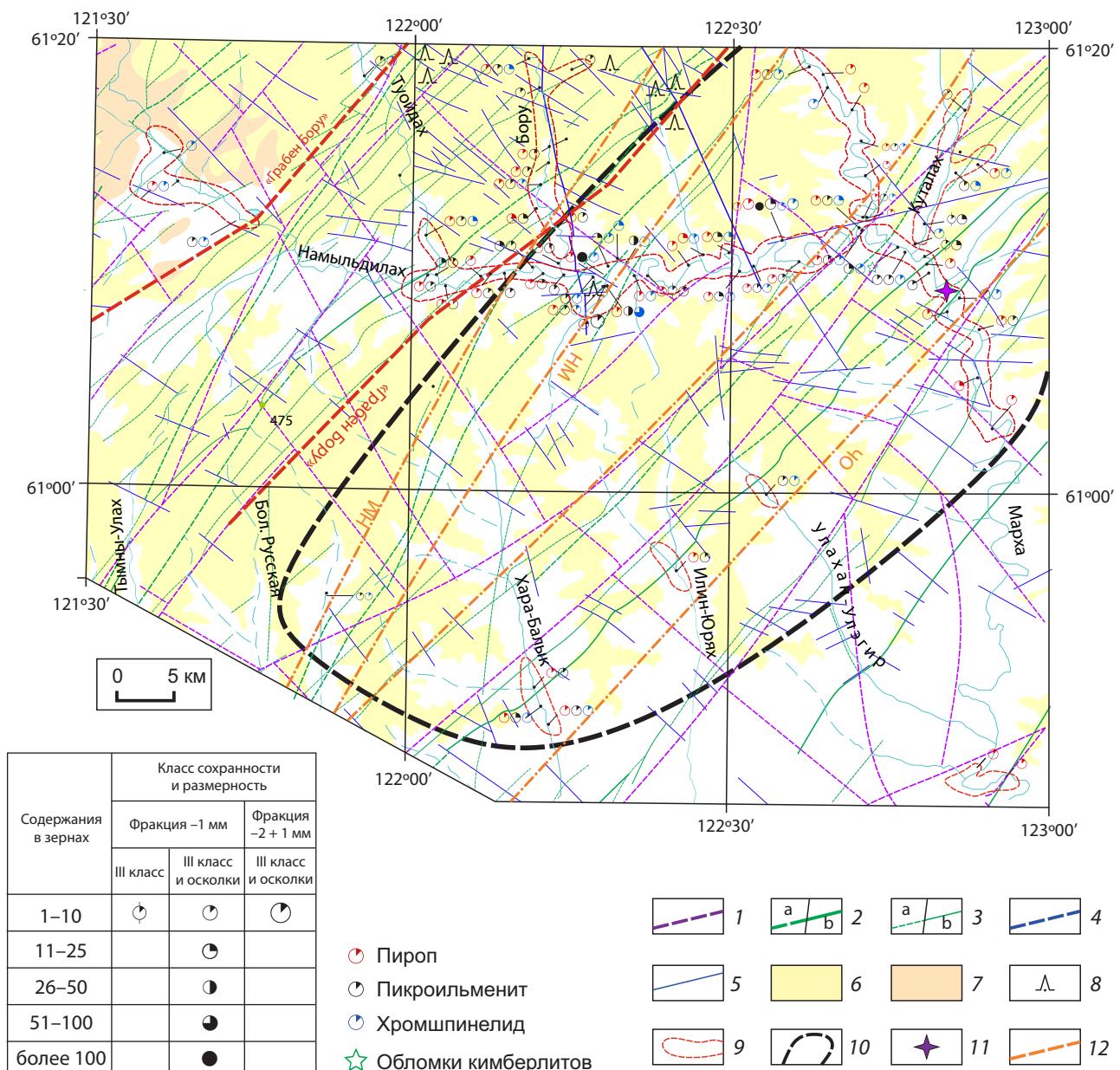


Рис. 10. Сводная карта минералогического и структурно-тектонического районирования северо-восточной части Намана-Синского потенциального алмазоносного района

1 — осевые зоны глубинных разломов дофанерозойского заложения; 2, 3 — основные разрывные нарушения Чаро-Синской зоны: 2 — основные, 3 — второстепенные (*a* — залеченные дайками, выходящими на поверхность, *b* — не выходящие на поверхность); 4, 5 — позднепалеозойские сбросо-сдвиговые разрывные нарушения: 4 — главные, 5 — второстепенные; 6 — область развития четвертичных и юрских пород; 7 — область развития девонских вулканогенно-осадочных комплексов; 8 — положение эпицентров потенциальных аномалий трубочного типа; 9 — контуры ореолов индикаторных минералов кимберлитов в аллювиальных отложениях территории; 10 — площадь, перспективная на выявление объектов ранга кимберлитовое поле; 11 — находки ультрабазитовых микробрекций; 12 — потенциальные кимберлитоконтролирующие сегменты Чаро-Синской зоны: ЧО — Чара-Олекминский, НМ — Наманинский

Fig. 10. Mineralogical, structural and tectonic zoning integrated map of the northeastern Namana-Sinsk potential diamond-bearing region

1 — axial zones of the Pre-Phanerozoic deep faults; 2, 3 — main faults of the Chara-Sinsk zone: 2 — major, 3 — minor (*a* — filled with dyke outcrops, *b* — incrops); 4, 5 — Late Paleozoic strike-slip faults: 4 — major, 5 — minor; 6 — Quaternary and Jurassic rock development area; 7 — Devonian volcanic-sedimentary complex development area; 8 — potential pipe-type anomaly epicenters; 9 — halo contours of kimberlite indicator minerals in alluvial deposits; 10 — promising area of discovering kimberlite fields; 11 — ultrabasite microbreccia discovery; 12 — potential kimberlite-controlling segments of the Chara-Sinsk zone: ЧО — Чара-Олекминский, НМ — Наманинский

для концентрации ИМК из множественных промежуточных источников. С другой стороны, концентрации ИМК в аллювии р. Намыльдилах на участке от его устья до устья р. Бору растут ступенчато, достигая максимальных концентраций ниже по течению от устьев небольших северных и южных притоков.

Как уже отмечалось, находки ореолов ИМК вне пределов площади грабена оказались значительными и приурочены к полосе наиболее дифференцированных даек чаро-синского комплекса (Чара-Олекминский сегмент).

В пределах данного участка также найдены и обломки микробрекчий и кимберлитов [12].

Учитывая III–IV класс сохранности ИМК, можно предположить, что «грабен Бору» выполнял роль крупной конседиментационной впадины, заполнявшейся существенно мелкозернистым терригенным материалом ближнего сноса (юрские отложения в данной части территории характеризуются наибольшей степенью перемыва и зрелости).

В условиях преимущественно северного и северо-восточного направлений сноса в нем могли захораниваться продукты разрушения породных комплексов территории, включая потенциальные коренные источники ИМК. При выведении пород грабена на дневную поверхность, с началом широкого

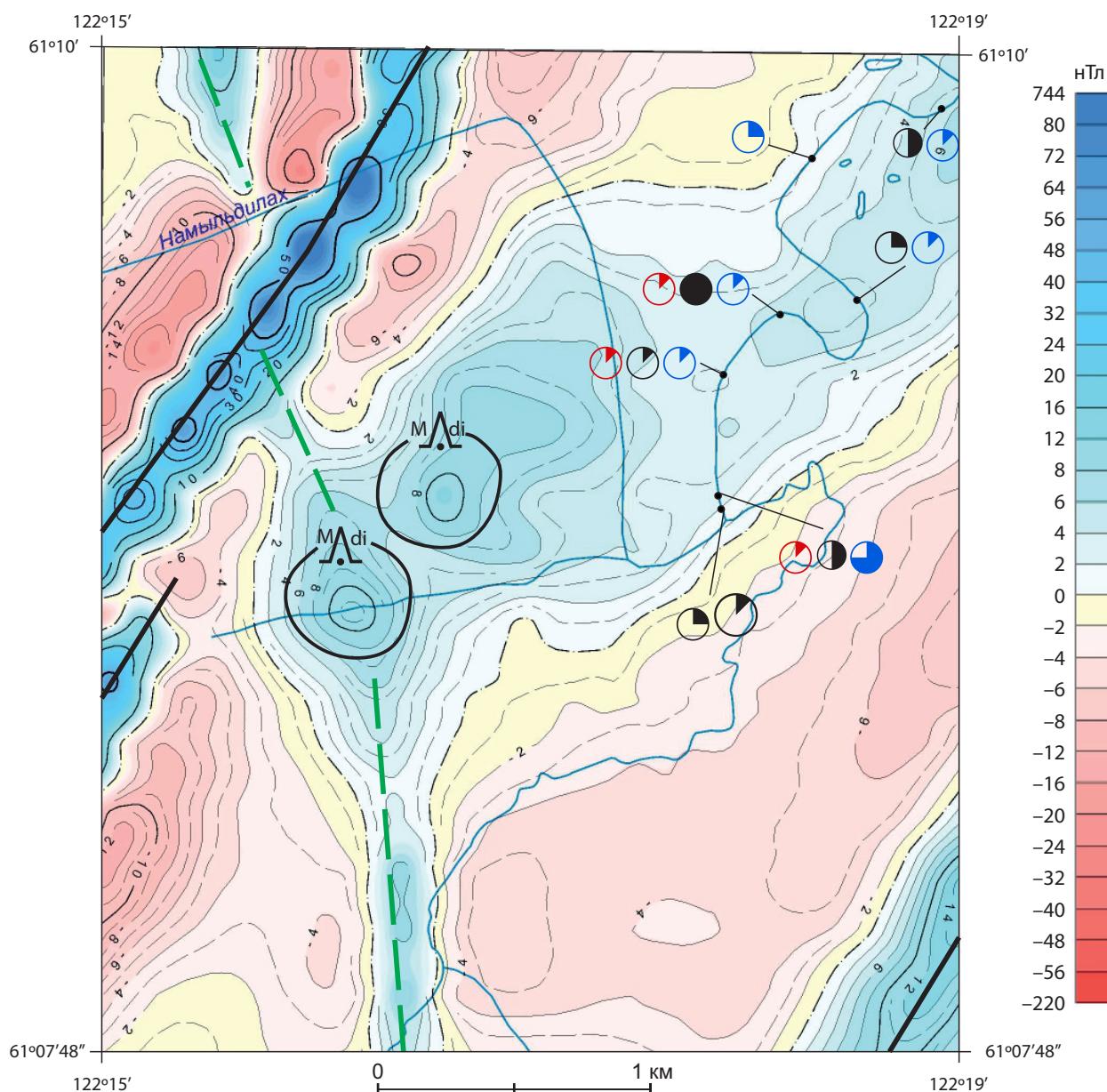


Рис. 11. Фрагмент карты аномального магнитного поля района устья р. Намыльдилах

Условные обозначения к составу и содержаниям индикаторных минералов кимберлитов см. на рис. 10

Fig. 11. Fragment of the anomalous magnetic field map for the Namyldilakh River mouth area

Fig. 10 presents symbols for composition and content of kimberlite indicator minerals

процесса их размыва, ИМК стали поступать из этого промежуточного коллектора в аллювий рек.

Суммируя вышесказанное, можно предположить, что потенциальная область проявления кимберлитового магматизма в пределах площади располагается не в грабене, а в параллельной полосе в 20 км к югу от него; сами трубы в настоящее время перекрыты юрскими отложениями мощностью 5–25 м. Это объясняет положение ореолов ИМК к северо-востоку от площади, в долине р. Мархачан, и к юго-западу, в долинах рек Мырая и Хатыстыр [14].

В таких условиях, в соответствии с прогнозно-поисковыми моделями алмазоносных кимберлитов территории, перспективные к заверке бурением геофизические аномалии будут располагаться в зонах сопряжения разрывных нарушений Чаро-Синской зоны северо-восточного и северо-западного простираний, а также на участках их сопряжения с малоамплитудными сдвигами и сбросо-сдвигами юго-западного простирания. При этом на карте локальной составляющей магнитного поля видно, что поперечные разломы юго-восточного простирания постепенно затухают к долине р. Намыльдилах (рис. 11). В зоне их сочленения фиксируется ряд точечных аномалий интенсивностью до 200 нТл/км. Примечательно, что с этими участками сопряжены локальные повышенные содержания ИМК в аллювии р. Намыльдилах, а магматические породы имеют повышенное содержание TiO_2 .

Таким образом, по результатам исследований могут быть сделаны следующие выводы.

1. В пределах рассматриваемой части Марханаминского района наибольшим потенциалом для выявления кимберлитов девонского возраста обладает площадь Наманинского и Чара-Олекминского сегментов Чаро-Синской зоны. Наибольшая концентрация аномалий потенциально трубочного типа приурочена к участкам сопряжения данных тектонических структур с разломами субмеридионального простирания, выявленными в нижнем течении р. Намыльдилах.

2. Состав и морфология ИМК указывают на низкую перспективу выявления богатых алмазами кимберлитовых трубок в пределах площади.

3. «Грабен Бору» в принятых ранее границах является конседиментационной структурой юрского возраста, служившей в качестве локальной ловушки для ИМК при перемыве продуктов разрушения более древних пород на раннеюрском этапе. Выполняющие его юрские отложения выступают в качестве промежуточного коллектора для ИМК на территории.

4. Положение, состав и морфология ИМК в пределах территории аналогичны таковым в долинах рек Мархачан, Мырая и Хатыстыр, что свидетельствует об их принадлежности к единому минералогическому полю.

5. Наиболее перспективной для выявления потенциально алмазоносных кимберлитов является площадь долины р. Намыльдилах и ее притоков — Хороннох, Тойон-Уялах и Эселях, в пределах которых целесообразно проведение детальных поисковых работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам проведенного комплекса геолого-геофизических работ были значительно дополнены данные о составе индикаторных минералов кимберлитов и предполагаемом положении проявлений кимберлитового магматизма на площади. Выявление нового, второго по счету кимберлитового поля в пределах Намана-Синского алмазоносного района является важной и актуальной задачей. Для ее реализации целесообразно дальнейшее изучение территории на детализированных участках с отбором мелкообъемных, протолочных и шлиховых проб из базального горизонта ранней юры.

Зоны развития основных потенциально контролирующих и локализующих разломов необходимо заверить геологическими маршрутами на предмет выявления косвенных признаков кимберлитового магматизма (наличие кварц-карбонатных флюидо-разрывных и эруптивных базитовых брекчий). Выделенные перспективные геофизические аномалии следует детализировать наземной геофизикой с точной геопривязкой центра аномалии и дальнейшей заверкой буровыми работами.

Исходя из полученных данных, можно сказать, что вероятность выявления в пределах участка высокоалмазоносной кимберлитовой трубы весьма невелика. Состав выявленных индикаторных минералов кимберлитов также указывает на условия, не совсем благоприятные для формирования и устойчивости зерен алмаза в литосфере. В то же время обнаружение трубок позволит уточнить особенности глубинного строения площади и оценить перспективы алмазоносности смежных участков в долинах рек Мархачан и Синяя, где также прогнозируются кимберлитовые поля девонского возраста.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Проценко Е. В., Толстов А. В., Горев Н. И. Критерии поисков кимберлитов и новые перспективы коренной алмазоносности Якутии // Руды и металлы. 2018. № 4. С. 14–23.
2. Кимберлиты трубы Манчары: новое кимберлитовое поле Центральной Якутии / А. П. Смелов [и др.] // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 1. С. 153–159.
3. Перспективы алмазоносности южного борта Вилюйской синеклизы / В. П. Афанасьев [и др.] // Отечественная геология. 2007. № 1. С. 119–122.
4. О перспективах алмазоносности южного борта Вилюйской синеклизы / В. П. Афанасьев [и др.] // Геология рудных месторождений. 2020. Т. 62, № 6. С. 561–567. <https://doi.org/10.31857/S0016777020040024>.
5. Избеков Э. Д., Подъячев Б. П., Афанасьев В. П. Признаки симметричной алмазоносности восточной части Сибирской платформы (относительно оси Вилюйской синеклизы) // Доклады Академии наук. 2006. Т. 411, № 3. С. 352–353.
6. Геология и перспективы алмазоносности юго-восточной окраины Сибирской платформы и Сетте-Дабана / И. И. Колодезников [и др.] ; под ред. К. К. Левашова. М. : Изд-во «Недра», 1996. 160 с.
7. Мишин В. М. Главная фигура аппроксимации полного ареала размещения кимберлитов и родственных пород

- востока Сибирской платформы // Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов : материалы науч.-практ. конф., Мирный, 24–28 марта 1998 г. Мирный : Мирн. город. тип., 1998. С. 274–277.
8. Мишин В. М., Гриненко В. С., Андреев А. П. Третий геолого-промышленный тип концентрированного оруденения Якутского погребенного поднятия: ретроспективный взгляд // Наука и образование. 2013. № 4. С. 18–24.
9. Якутское погребенное поднятие: инъецированные кимберлиты и их тектоническая рама / В. М. Мишин [и др.] // Наука и образование. 2010. № 2. С. 11–15.
10. Мишин В. М., Гриненко В. С. Каменноугольные отложения Алданской антеклизы — ключевое звено системы «протоколлектор — коренной источник алмаза» // Наука и образование. 2006. № 4. С. 14–19.
11. Толстов А. В., Горев Н. И., Проценко Е. В. Новые перспективы коренной алмазоносности Чаро-Синской зоны глубинных разломов (Южная Якутия) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов : сб. тез. докл. VIII междунар. науч.-практ. конф., Москва, 16–18 апр. 2018 г. М. : ЦНИГРИ, 2018. С. 21–22.
12. Перспективы алмазоносности Чаро-Синской зоны разломов / А. В. Толстов [и др.] // Руды и металлы. 2021. № 3. С. 46–58. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2021-10017>.
13. Розен О. М., Манаков А. В., Зинчук Н. Н. Сибирский кратон: формирование, алмазоносность. М. : Науч. мир, 2006. 212 с.
14. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Анабаро-Вилюйская. Лист Р-51 — Олекминск. Объяснительная записка / И. О. Лебедев [и др.]. СПб. : ВСЕГЕИ, 2023. 380 с.
15. Ротман А. Я., Серенко В. П. Петрологические особенности базитов трубок взрыва Западной Якутии // Геология и полезные ископаемые Восточной Сибири. Новосибирск : Наука, 1985. С. 173–183.
16. Гайдук В. В. Вилюйская среднепалеозойская рифтовая система. Якутск : ЯФ СО АН СССР, 1988. 127 с.
17. Чаро-Синский дайковый пояс (среднее течение р. Лена): локальный U-Pb возраст циркона и петрологогеохимические особенности / В. Е. Гузев [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2021. № 87. С. 28–41. https://doi.org/10.52349/08697892_2021_87_28-41.
18. Проявление флюидно-взрывной дезинтеграции базитов в Накынском кимберлитовом поле (Якутская алмазоносная провинция) / А. И. Киселев [и др.] // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23, № 1. С. 97–104.
19. Масайтис В. Л. Вулканизм и тектоника Патомско-Вилюйского среднепалеозойского авлакогена : тр. ВСЕГЕИ. Т. 192. М. : Недра, 1975. 181 с.
20. Проценко Е. В., Горев Н. И. Тектонические особенности размещения кимберлитовых тел и их использование при прогнозировании (на примере кимберлитовых полей Западной Якутии) // Руды и металлы. 2017. № 4. С. 62–69.
21. Соболев Н. В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск : Наука, 1974. 264 с.
22. Haggerty S. E. The chemistry and genesis of opaque minerals in kimberlites // Physics and Chemistry of the Earth. 1975. Vol. 9. P. 295–307. [https://doi.org/10.1016/0079-1946\(75\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0079-1946(75)90024-5).
23. Origin and significance of ilmenite megacrysts and macrocrysts from kimberlite / D. J. Schulze [et al.] // International Geology Review. 1995. Vol. 37, no. 9. P. 780–812. <https://doi.org/10.1080/00206819509465427>.
24. Moore A. E. A model for the origin of ilmenite in kimberlite and diamond: Implications for the genesis of the discrete nodule (magacryst) suite // Contr. Mineral. and Petrol. 1987. Vol. 95. P. 245–253. <https://doi.org/10.1007/bf00381274>.
25. Gurney J. J., Helmstaedt H., Moore R. O. A review of the use and application of mantle mineral geochemistry in diamond exploration // Pure and Applied Chemistry. 1993. Vol. 65, no. 12. P. 2423–2442. <https://doi.org/10.1351/pac199365122423>.
26. Mitchell R. H. Kimberlites: Mineralogy, geochemistry and petrology. New York ; London : Plenum Press, 1986. 442 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0568-0>.
27. Diamond prospectivity from indicator mineralogy: A Western Australian perspective / C. B. Smith [et al.] // Intern. Kimberlite Conf.: Extended abstr. 1991. Vol. 5. P. 380–382. <https://doi.org/10.29173/ikc2576>.
28. Томшин М. Д., Гоголева С. С. Новый подход к поиску кимберлитов // Наука и техника в Якутии. 2021. № 2. С. 19–22. <https://doi.org/10.24412/1728-516X-2021-2-19-22>.
29. Локализация высокотитанистых долеритов на территории кимберлитовых полей: возможные причины и новый критерий поиска / М. Д. Томшин [и др.] // Геология и геофизика. 2024. Т. 65, № 9. С. 1234–1245. <https://doi.org/10.15372/GIG2024105>.
30. Tomshin M., Gogoleva S. Behavior of TiO_2 in dolerites as a possible search sign for kimberlites // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2020. Vol. 609. P. 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012073>.
31. Томшин М. Д., Толстов А. В., Журавлев А. И. Перспективы территории Чаро-Синского дайкового пояса на обнаружение кимберлитов по геохимическим особенностям базитов // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2025. Т. 30, № 3. С. 353–364. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-3-353-364>.
32. Чаро-Синский дайковый рой в структуре среднепалеозойской Вилюйской рифтовой системы (Сибирский кратон) / А. И. Киселев [и др.] // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471, № 2. С. 209–213. <https://doi.org/10.7868/S0869565216320220>.
33. Киселев А. И. Взаимоотношения кимберлитового и базитового магматизма в Накынском поле Якутской алмазоносной провинции // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. № 4. С. 18–21.

REFERENCES

1. Protsenko E. V., Tolstov A. V., Gorev N. I. Kimberlite prospecting criteria and new prospects for Yakutia primary diamond potential. *Ores and Metals*. 2018; (4): 14–23 (In Russ.).
2. Kimberlites of the Manchary pipe: A new kimberlite field in Central Yakutia. *Russian Geology and Geophysics*. 2010; 51 (1): 121–126. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2009.12.012>.
3. Prospects for diamond potential of the southern side of the Vilyui syneclyse / V. P. Afanasiev [et al.]. *Otechestvennaya Geologiya*. 2007; (1): 119–122. (In Russ.).
4. On the prospects of diamond content of the southern side of the Vilyui syneclyse / V. P. Afanasiev [et al.]. *Geology of Ore Deposits*. 2020; 62 (6): 535–541. <https://doi.org/10.1134/S1075701520040029>.
5. Izbekov E. D., Pod'yachev B. P., Afanas'ev V. P. Signs of symmetric diamond concentration in the eastern Siberian platform (relative to the Vilyui syneclyse axis). *Doklady Earth Sciences*. 2006; 411: 1339–1340. <https://doi.org/10.1134/S1028334X06090017>.
6. Geology and diamond potential prospects in the southeastern margin of the Siberian platform and Sette-Daban / I. I. Kolodeznikov [et al.]; Ed. K. K. Levashov. Moscow: Nedra Publ.; 1996. 160 p. (In Russ.).
7. Mishnin V. M. The main figure of approximation of the complete area of distribution of kimberlites and related rocks of the eastern Siberian platform. *Geology, distribution patterns, methods of forecasting and prospecting for diamond deposits: Proc. of the Sci. Conf.*, Mirny, 24–28 March 1998. Mirny: Mirny City Printing House; 1998. P. 274–277. (In Russ.).
8. Mishnin V. M., Grinenko V. S., Andreev A. P. The third geological-industrial type of concentrated mineralization of the Yakut buried uplift: A retrospective view. *Nauka i Obrazovanie*. 2013; (4): 18–24. (In Russ.).

9. Yakut buried uplift: Injected kimberlites and their tectonic framework / V. M. Mishnin [et al.]. *Nauka i Obrazovanie*. 2010; (2): 11–15. (In Russ.).
10. Mishnin V. M., Grinenko V. S. Carboniferous deposits of the Aldan antecline — a key link in the “protocollector — primary diamond source” system. *Nauka i Obrazovanie*. 2006; (4): 14–19. (In Russ.).
11. Tolstov A. V., Gorev N. I., Protsenko E. V. New prospects for primary diamond potential of the Charo-Sinskaya zone of deep faults (South Yakutia). *Scientific and methodological foundations for forecasting, prospecting, and assessing deposits of diamonds, precious, and nonferrous metals: Proc. of the VIII Intern. Sci. Conf.*, Moscow, 16–18 Apr. 2018. Moscow: TsNIGRI; 2018. P. 21–22. (In Russ.).
12. Prospects for diamond potential of the Charo-Sinskaya fault zone / A. V. Tolstov [et al.]. *Ores and Metals*. 2021; (3): 46–58. (In Russ.).
13. Rozen O. M., Manakov A. V., Zinchuk N. N. Siberian craton: Origin and the diamond control. Moscow: Sci. World; 2006. 212 p. (In Russ.).
14. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1:1,000,000. Third Generation. Anabar-Vilyuy Series. Sheet P-51 — Olyokminsk. Explanatory Note. St. Petersburg: VSEGEI; 2023. 380 p. (In Russ.).
15. Rotman A. Ya., Serenko V. P. Petrological features of basites in Western Yakutia volcanic pipes. *Geology and mineral resources in Eastern Siberia*. Novosibirsk: Nauka; 1985. P. 173–183. (In Russ.).
16. Gaiduk V. V. Middle Paleozoic Vilyuy rift system. Yakutsk: Yab SB AS USSR; 1988. 127 p. (In Russ.).
17. Chara-Sinsk dike swarm (middle reaches of the Lena River): Local U-Pb age of zircon and petrological and geochemical features of rocks / V. E. Guzev [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2021; (87): 28–41. https://doi.org/10.52349/08697892_2021_87_28-41. (In Russ.).
18. The nature of basic explosive breccias within the Nakyn kimberlitic field (Yakutian diamondiferous province) / A. I. Kiselev [et al.]. *Pacific Geology*. 2004; 23 (1): 97–104 (In Russ.).
19. Masaitis V. L. Volcanism and tectonics of the Middle Paleozoic Patom-Vilyuy aulacogen: VSEGEI Proc. Vol. 192. Moscow: Nedra; 1975. 181 p. (In Russ.).
20. Protsenko E. V., Gorev N. I. Tectonic features of kimberlite bodies location and their use in forecasting (exemplified by kimberlite fields of the Western Yakutia). *Ores and Metals*. 2017; (4): 62–69. (In Russ.).
21. Sobolev N. V. The deep seated inclusions in kimberlites and the problem of the upper mantle composition. Novosibirsk: Nauka; 1974. 264 p. (In Russ.).
22. Haggerty S. E. The chemistry and genesis of opaque minerals in kimberlites. *Physics and Chemistry of the Earth*. 1975; 9: 295–307. [https://doi.org/10.1016/0079-1946\(75\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0079-1946(75)90024-5).
23. Origin and significance of ilmenite megacrysts and macrocrysts from kimberlite / D. J. Schulze [et al.]. *International Geology Review*. 1995; 37 (9): 780–812. <https://doi.org/10.1080/00206819509465427>.
24. Moore A. E. A model for the origin of ilmenite in kimberlite and diamond: Implications for the genesis of the discrete nodule (megacryst) suite. *Contr. Mineral. and Petrol.* 1987; 95: 245–253. <https://doi.org/10.1007/bf00381274>.
25. Gurney J. J., Helmstaedt H., Moore R. O. A review of the use and application of mantle mineral geochemistry in diamond exploration. *Pure and Applied Chemistry*. 1993; 65 (12): 2423–2442. <https://doi.org/10.1351/pac199365122423>.
26. Mitchell R. H. Kimberlites: Mineralogy, geochemistry and petrology. New York; London: Plenum Press; 1986. 442 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0568-0>.
27. Diamond prospectivity and indicator mineral chemistry: A western Australian perspective / C. B. Smith [et al.]. *Intern. Kimberlite Conf.: Extended abstr.* 1991; 5: 380–382. <https://doi.org/10.29173/ikc2576>.
28. Tomshin M. D., Gogoleva S. S. New approach to the search for kimberlites. *Nauka i Tekhnika v Yakutii*. 2021; (2): 19–22. <https://doi.org/10.24412/1728-516X-2021-2-19-22>. (In Russ.).
29. Localization of high-titanium dolerites in kimberlite fields: Possible causes and a new criterion for kimberlite search / M. D. Tomshin [et al.]. *Russian Geology and Geophysics*. 2024; 65 (9): 1234–1245. <https://doi.org/10.15372/GIG2024105>. (In Russ.).
30. Tomshin M., Gogoleva S. Behavior of TiO_2 in dolerites as a possible search sign for kimberlites. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020; 609: 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012073>.
31. Tomshin M. D., Tolstov A. V., Zhuravlev A. I. Prospects for discovering kimberlites in the Chara-Sinsk dike swarm based on the geochemical features of basites. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2025; 30 (3): 353–364. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2025-30-3-353-364>. (In Russ.).
32. The Chara-Sina dyke swarm in the structure of the Middle Paleozoic Vilyui rift system (Siberian craton) / A. I. Kiselev [et al.]. *Doklady Earth Sciences*. 2016; 471 (1): 1179–1182. <https://doi.org/10.1134/S1028334X16110167>.
33. Kiselev A. I. The relations of kimberlite and basite magmatism in Nakinskoye field of Yakutsk diamond province. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2008; (4): 18–21. (In Russ.).

Глеб Александрович Козлов

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий геолог

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

<https://orcid.org/0009-0001-1263-5463>
ResearcherID KBR-2708-2024
SPIN-код РИНЦ 3598-2374
gleb_kozlov@karpinskyinstitute.ru

Борис Александрович Калмыков

Главный геолог отдела

Акционерное общество «Геофизическое
научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика»,
Москва, Россия

kalmykov@aerogegeo.ru

Gleb A. Kozlov

PhD (Geology and Mineralogy),
Leading Geologist

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

<https://orcid.org/0009-0001-1263-5463>
ResearcherID KBR-2708-2024
RSCI SPIN-code 3598-2374
gleb_kozlov@karpinskyinstitute.ru

Boris A. Kalmykov

Chief Geologist of Department

Geophysical Research
and Production Enterprise “Aerogeofizika”,
Moscow, Russia

kalmykov@aerogegeo.ru

Алексей Андреевич Трусов

Кандидат технических наук, главный геофизик

Акционерное общество «Геофизическое научно-производственное предприятие «Аэрогеофизика», Москва, Россия

Scopus Author ID 56122428200
RSCI SPIN-code 9395-7588
trusov@aerogeob.ru

Динар Ильицович Гилязов

Геолог второй категории

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

Dinar_ilvirovich@karpinskyinstitute.ru

Андрей Валерьевич Осипов

Заместитель начальника отдела

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия

ao212imgre@mail.ru

Василий Иванович Леонтьев

Кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора Центра прогнозно-металлогенических исследований

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

<https://orcid.org/0000-0001-7183-4772>
Scopus Author ID 57195316170
ResearcherID P-3351-2017
RSCI SPIN-code 4563-2326
vasiliy_leontiev@karpinskyinstitute.ru

Alexey A. Trusov

PhD (Engineering), Chief Geophysicist

Geophysical Research and Production Enterprise "Aerogeofizika", Moscow, Russia

Scopus Author ID 56122428200
RSCI SPIN-code 9395-7588
trusov@aerogeob.ru

Dinar I. Giliarov

Second Category Geologist

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

Dinar_ilvirovich@karpinskyinstitute.ru

Andrei V. Osipov

Deputy Head of Department

Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

ao212imgre@mail.ru

Vasilii I. Leontev

PhD (Geology and Mineralogy), Deputy Head, Centre of Predictive Metallogenic Studies

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

<https://orcid.org/0000-0001-7183-4772>
Scopus Author ID 57195316170
ResearcherID P-3351-2017
RSCI SPIN-code 4563-2326
vasiliy_leontiev@karpinskyinstitute.ru

Вклад авторов: Козлов Г. А. — организация работ по проекту, концепция исследования, составление текста, обработка результатов геологических и геофизических исследований, минералогического анализа, итоговые выводы.

Калмыков Б. А. — организация работ по проекту, концепция исследования, обработка результатов геофизических исследований, составление текста, итоговые выводы.

Трусов А. А. — обработка результатов геофизических исследований, составление текста, итоговые выводы.

Гилязов Д. И. — подготовка дополнительных материалов, обработка результатов минералогических исследований, доработка текста, итоговые выводы.

Осипов А. В. — организация работ по проекту, подготовка дополнительных материалов, доработка текста, итоговые выводы.

Леонтьев В. И. — научное руководство, доработка текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: Kozlov G. A. — project organization, research concept, original draft, geological and geophysical research data analysis, mineralogical analysis, final conclusions.

Kalmykov B. A. — project organization, research concept, geophysical research data analysis, original draft, final conclusions.

Trusov A. A. — geophysical research data analysis, original draft, final conclusions.

Giliarov D. I. — preparing supplementary data, mineralogical analysis, follow-on revision, final conclusions.

Osipov A. V. — project organization, preparing supplementary data, follow-on revision, final conclusions.

Leontev V. I. — scientific supervision, project organization, follow-on revision.

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

Статья поступила в редакцию 18.11.2025
Одобрена после рецензирования 12.12.2025
Принята к публикации 22.12.2025

Submitted 18.11.2025
Approved after reviewing 12.12.2025
Accepted for publication 22.12.2025