



<https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-11-4-3>

УДК. 553.81 (234.83)

## Пиропы Цилемского поднятия (Средний Тиман) как индикаторы коренных источников алмазов

А.А. Пархачев<sup>1, 2</sup>, Ю.В. Глухов<sup>1</sup>, К.Г. Пархачева<sup>1</sup>, Б.А. Макеев<sup>1</sup>, М.Ю. Сокерин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии ФИЦ Коми научный центр УрО РАН, ул. Первомайская 54, г. Сыктывкар, 167982 Россия; [Andrey\\_Parhachev@karpinskyinstitute.ru](mailto:Andrey_Parhachev@karpinskyinstitute.ru)

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт им. ак. А.П. Карпинского, Сыктывкарский сектор, Октябрьский пр. 127, г. Сыктывкар, 167005 Россия

Статья поступила в редакцию 14.08.2025 г., после доработки 27.11.2025 г., принята к печати 04.12.2025 г.

**Аннотация.** В статье представлены результаты изучения пиропов Цилемского поднятия (северная часть Среднего Тимана) из четвертичных отложений и среднедевонских терригенных пород бассейна р. Цильмы. По типоморфным свойствам (внутреннее строение, химический состав, микровключения, морфология) они имеют определенное сходство с пиропами других районов Среднего Тимана. Состав подавляющей части изученных гранатов соответствует пиропам из низкохромистых лерцолитов. Отдельные зерна пиропов относятся к верлитовому и дунит-гарцбургитовому парагенезисам. Пиропы из области фазовой стабильности алмаза не обнаружены. Дальность транспортировки основной массы пиропов от коренного источника оценивается в десятки и сотни километров, однако наличие зерен с низкой степенью изношенности не исключает присутствия более близкого коренного источника. Микробугорчатый рельеф большинства зерен пиропов указывает на их растворение в условиях гипергенеза, что типично для пиропов из промежуточных осадочных коллекторов. На Цилемском поднятии такими являются терригенные породы среднего девона, с которыми связываются перспективы обнаружения алмазов. Для увеличения точности прогноза алмазоносности территории целесообразны специализированные поисковые работы с крупнообъемным опробованием промежуточных коллекторов и современных аллювиальных комплексов.

**Ключевые слова:** пироп, хромшпинелиды, алмазоносность, кимберлитовые спутники алмазов, Цилемское поднятие, Средний Тиман.

**Финансирование.** Исследования выполнены в рамках государственного задания Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Россия) по теме «Фундаментальные проблемы минералогии и минералообразования, минералы как индикаторы петро- и рудогенеза, минералогия рудных районов и месторождений Тимано-Североуральского региона и арктических территорий» № 122040600009-2

**Благодарности.** Авторы благодарны Н.Х. Хачатурян за извлечение пиропов из шлиховых концентратов, операторам электронного микроскопа Е.М. Тропникову, А.С. Шуйскому и В.А. Радаеву, коллективу Сыктывкарского сектора Института им. А.П. Карпинского, сотруднику ГБУ РК «ЦЕНТР ПО ООПТ» А.А. Бушеневу, а также редакторам журнала за скрупулезное редактирование рукописи.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с рукописью.

**Вклад авторов:** А.А. Пархачев, Ю.В. Глухов, К.Г. Пархачева, М.Ю. Сокерин – аналитические исследования, написание рукописного варианта статьи, редактирование рукописи; А.А. Пархачев – полевые исследования; Б.А. Макеев – математические расчеты минеральных компонентов, графическое построение комбинированной тригонограммы Павлова.

**Для цитирования:** Пархачев А.А., Глухов Ю.В., Пархачева К.Г., Макеев Б.А., Сокерин М.Ю. Пиропы Цилемского поднятия (Средний Тиман) как индикаторы коренных источников алмазов. *Минералогия*, 2025, 11(4), 39–55. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-11-4-3>

## Pyrope of the Tsilma Uplift (Middle Timan) as an indicator of primary diamond sources

A.A. Parkhachev<sup>1,2</sup>, Yu.V. Glukhov<sup>1</sup>, K.G. Parkhacheva<sup>1</sup>, B.A. Makeev<sup>1</sup>, M.Yu. Sokerin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geology, Federal Research Center of the Komi Science Center UB RAS, ul. Pervomayskaya 54, Syktyvkar, 167982 Russia; Andrey\_Parkhachev@karpinskyinstitute.ru*

<sup>2</sup>*Karpinsky Russian Geological Research Institute, Syktyvkar sector, Oktyabrsky pr. 127, Syktyvkar, 167005 Russia*

Received 14.08.2025, revised 27.11.2025 accepted 04.12.2025

**Abstract.** The paper presents the results of study of pyrope from the Tsilma Uplift (northern Middle Timan) in Quaternary sediments and Middle Devonian terrigenous rocks of the Tsilma River basin. Based on their inner structure, chemical composition, microinclusions, and morphology, it is concluded that they are similar to pyrope from other Middle Timan regions. According to the chemical composition, most studied pyrope grains belong to a low-Cr Iherzolite type, whereas some grains derived from wehrlite and dunite-harzburgite assemblages. No pyrope is identified from the diamond phase stability zone. Most pyrope grains were transported from their source for tens or hundreds of kilometers; however, the presence of weakly worn grains indicates the possible presence of a closer source. The microtubercular surface of most pyrope grains points to their supergene dissolution that is typical of pyrope from intermediate sedimentary reservoirs, e.g., the Middle Devonian terrigenous rocks of the Tsilma Uplift promising for diamond finding. More accurate forecast of diamond potential of the area requires specific exploration works with large-scale sampling of intermediate reservoirs and Quaternary alluvial complexes.

**Keywords:** pyrope, garnets, chromite, diamond-bearing properties, kimberlite diamond satellites, Tsilma Uplift, Middle Timan.

**Funding.** This work was supported by state contract of the Institute of Geology, Federal Research Center of the Komi Science Center UB RAS (Syktyvkar, Russia) “Fundamental Problems of Mineralogy and Mineral Formation, Minerals as Indicators of Petro- and Ore Genesis, Mineralogy of Ore Regions and Deposits of the Timan-Severouralsk Region and Arctic Territories” № 122040600009-2.

**Acknowledgments.** We are grateful to N.Kh. Khachatryan for extraction of pyrope from heavy concentrates, E.M. Tropnikov, A.S. Shuisky, and V.A. Radaev for electron microscopic studies, staff of the Syktyvkar sector of the Karpinsky Russian Geological Research Institute, A.A. Bushenev from the State Budgetary Institution of the Komi Republic “Center for Protected Natural Areas”, and editors of the journal for the thorough editing the manuscript.

**Conflict of interest.** The authors declare that they have no conflicts of interest.

**Authors contributions.** A.A. Parkhachev, Yu.V. Glukhov, K.G. Parkhacheva, B.A. Makeev, M.Yu. Sokerin – analytical studies, writing and editing the manuscript; A.A. Parkhachev – field studies; B.A. Makeev – mathematical calculations of minimum components, plotting the combined Pavlov trigonogram.

**For citation:** Parkhachev A.A., Glukhov Yu.V., Parkhacheva K.G., Makeev B.A., Sokerin M.Yu. Pyrope of the Tsilma uplift (Middle Timan) as an indicator of primary diamond sources. *Mineralogy*, 2025, 11(4), 39–55. <https://doi.org/10.35597/2313-545X-2025-11-4-3>

## ВВЕДЕНИЕ

Пиропы в россыпях являются основным индикаторным спутником алмаза, который широко используется при поисках кимберлитовых тел и оценке их алмазоносности (Marshall, Baxter-Brown, 1995; Харьков и др., 1995; Nowicki et al., 2007; Хмельков, 2008). Интерес к изучению алмазоносности Цилемского поднятия (Средний Тиман) проявился после находок алмазов и пиропов в аллю-

вии рр. Цильмы, Мезенской и Печорской Пижмы (Апенко и др., 1960; Чернов, 1960), однако специализированные поисковые работы не проводились. В ходе геолого-съёмочных работ в 1976–1980 гг. были выявлены шлиховые потоки минералов-спутников алмаза (МСА) в аллювии нескольких водотоков и единичные алмазы в верховьях рр. Цильмы и Крутой (Шилов и др., 2010). Результаты этих исследований, представленные только визуальным описанием и географической привязкой, изложе-

ны в серии опубликованных работ (Плякин, Дудар, 2001; Плякин, Щербаков, 2006; Харитонов, 2011).

Юго-восточнее Цилемского поднятия в северной части Вольско-Вымской гряды были поставлены специализированные поисково-разведочные работы, в ходе которых выявлены три кимберлитовые трубки (Умбинская, Водораздельная и Средненская), содержащие МСА (пиропы, хромшпинелиды, хромдиопсид и пикроильменит). В породах Умбинской трубки обнаружен мелкий осколок алмаза (Шилов и др., 2009). На северном замыкании этой гряды разведана небольшая алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльная палеороссыпь Ичетью, локализованная в базальном горизонте кварцевых псефитов среднедевонских яранской и пижемской свит (Плякин, Ершова, 2012). К югу от района исследований на примыкающем Четласском поднятии известны единичные находки алмазов в аллювиальных отложениях рр. Увью (Пыстин и др., 2023) и Косью (Шилов и др., 2009). Основные перспективы алмазоносности большинством исследователей связываются с современными и палеороссыпями (Шилов и др., 2009). Сходство геологического строения Цилемского и Четласского поднятий, а также Вольско-Вымской гряды, широкое распространение потенциально алмазоносных пижемской, яранской и листовичной свит среднего девона, присутствие шлиховых потоков МСА и находки алмазов в современном аллювии указывают на возможный минерагенический потенциал алмазоносности Цилемского поднятия по аналогии с северной частью Вольско-Вымской гряды и Четласским поднятием. Для обоснованного прогноза необходимо проведение комплекса геолого-геофизических и минералогических исследований, первым шагом из которых является изучение МСА. Эта задача была одной из основных при геолого-съёмочных работах на Цилемском поднятии, проведенных Сыктывкарским сектором Института Карпинского в 2022–2023 гг. Целью предлагаемой статьи является оценка потенциальной алмазоносности этой территории на основе изучения типоморфных особенностей пиропов, отобранных в ходе этих работ.

#### ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Цилемское поднятие – положительная блоково-надвиговая структура, выделяемая в северной части Среднего Тимана и имеющая общее северо-западное (тиманское) простираие (рис. 1). Район

характеризуется сложным строением с присутствием крупных тектонических блоков, моноклинальным залеганием пород и крупными высокоамплитудными складками. По основным крупным разломам происходило движение тектонических блоков, которые, надвигаясь друг на друга и на структуры Восточно-Европейской платформы, сформировали систему разновысотных выступов и депрессий рифейского фундамента. В некоторых работах (Шилов и др., 2009) при описании структурно-формационных зон фундамента Цилемский вал ( $25 \times 100$  км) вместе с Четласским горстом и Обдырским (Обдырско-Синдорским) валом описывается в составе Четласско-Цилемского мегавала ( $80 \times 325$  км). С запада Цилемское поднятие с прилегающими Урдюгской и Рочугской моноклиналями ограничено Западно-Тиманским надвигом, с востока – Цилемским сбросом. По длинной оси Цилемское поднятие разбивается Кислоручейским сбросом на два тектонических блока, имеющих структуру блок-моноклиналей – Западно-Цилемский и Восточно-Цилемский.

Приподнятые части блоков наиболее эродированы. В них выходят на дневную поверхность средне- и позднерифейские породы, представленные слабометаморфизованными терригенными и карбонатно-терригенными формациями. Крылья Цилемского поднятия и развитые на нем депрессии перекрыты средне- и позднедевонскими терригенными отложениями. В западной части Цилемского поднятия закартированы выходы более молодых терригенных и морских отложений от среднего карбона до средней юры.

В составе рифейского комплекса района исследований выделяются породы кислоручейской и быстринской серий. Кислоручейская серия объединяет среднерифейские образования клеоновской и пижемской свит. Клеоновская свита сложена слюдистыми кварцитопесчаниками, кварцитовидными алевролитами и кварц-слюдистыми сланцами. Пижемская свита имеет более сланцеватый состав – сланцы кварц-слюдистые и хлорит-кварц-слюдистые, часто магнетитсодержащие известковистые, реже углеродсодержащие. Быстринская серия объединяет рочугскую, павьюгскую и паунскую свиты верхнего рифея. Рочугская свита сложена терригенно-сланцевыми, карбонатно-сланцевыми и карбонатными отложениями. В составе павьюгской свиты участвуют в основном доломиты, в том числе стромалитовые и реже известняки. Паунская свита, завершающая разрез рифея, сложена



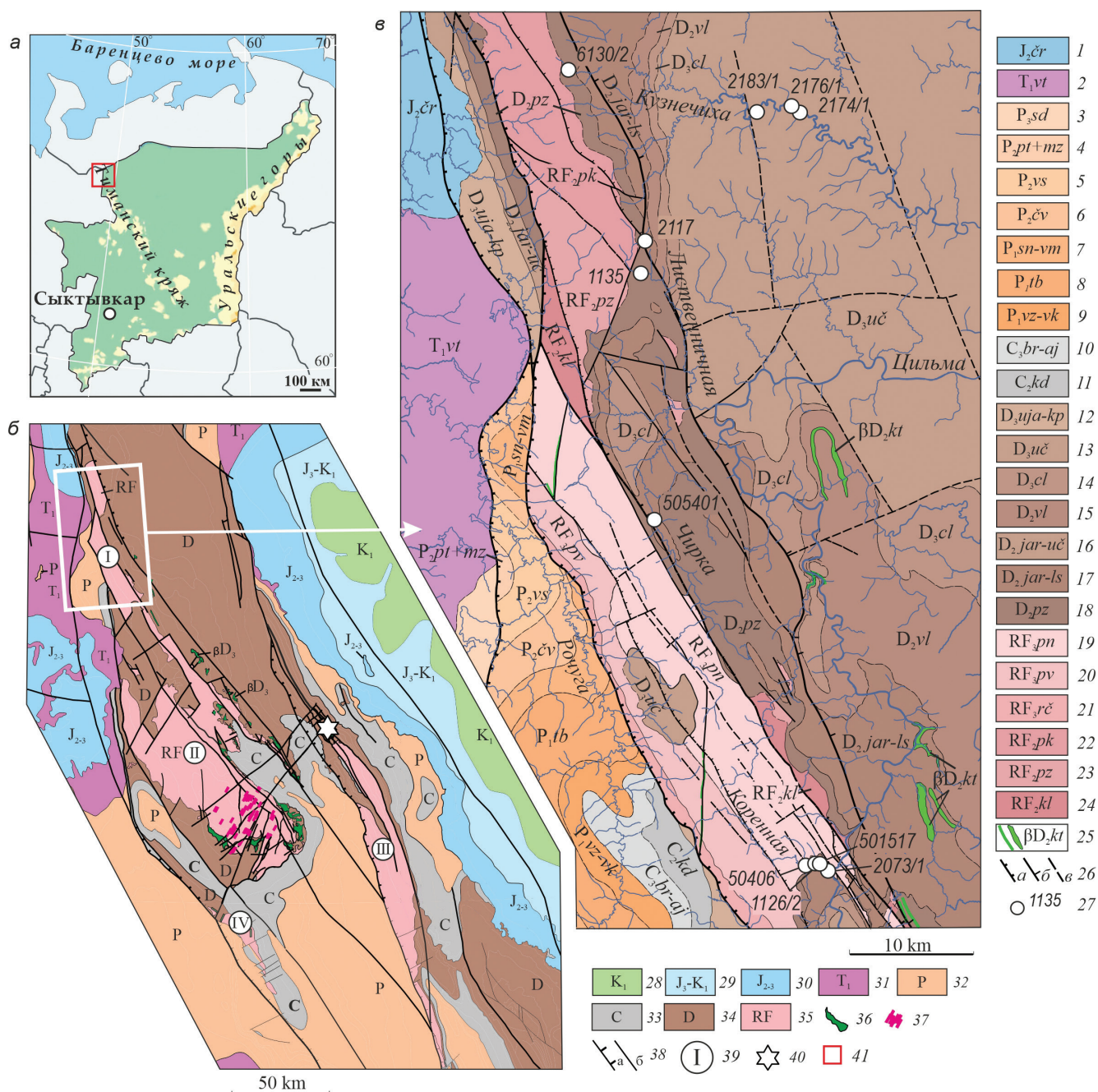


Рис. 1. Геологическая позиция (а) и схема геологического строения Среднего Тимана (б), составленная по (Пармузин и др., 2015, 2016) с картой врезкой участка исследований (в) по материалам (Пачуковский и др., 1994ф) с собственными уточнениями и изменениями.

1 – чуркинская свита: глины, пески кварцевые; 2 – ветлужская серия: переслаивание глин и песчаников; 3 – северодвинская серия: глинистые известняки, алевролиты; 4 – пытырьюская и мезенская свиты: мергели, алевролиты, песчаники и глины; 5 – веслянская свита: известняки с прослоями глин, мергели; 6 – чевьюская свита: песчаники, алевролиты, мергели; 7 – синдорская, вычегодская и вымская свиты: алевролиты, мергели, прослои известняков; 8 – тобысская толща: алевролиты с прослоями песчаников, известняков и доломитов; 9 – вожегская и верхнекулойская свиты: известняки, доломиты, прослои глин, мергелей, алевролитов, песчаников; 10 – буркемская, одесская, айювинская свиты: известняки, доломиты, песчаники; 11 – кодачская свита: известняки, доломиты; 12 – устьярская и крайпольская свиты: переслаивание песчаников, алевролитов, аргиллитов и глин, глинистых известняков и известняковистых глин; 13 – устьчиркинская свита: переслаивание глин, аргиллитов, алевролитов, песчаников; 14 – цилемская свита: переслаивание глин, аргиллитов, алевролитов, песчаников; 15 – валсовская свита: туфы, туффиты, туфопесчаники, туфоаргиллиты, прослои

алевролитов, песчаников, аргиллитов, базальты; 16 – яранская, листовенничная, валсовская, цилемская, устьчиркинская свиты: переслаивание аргиллитов, песчаников, прослои алевролитов; 17 – яранская и листовенничная свиты: песчаники, прослои и линзы мелкогалечных кварцевых конгломератов, переслаивание алевролитов, глины и песчаников; 18 – пижемская свита: кварцевые песчаники, прослои гравелитов, алевролитов и аргиллитов; 19 – паунская свита: известняки, алевритистые сланцы, доломиты, углистые сланцы; 20 – павьюгская свита: доломиты; 21 – рочугская свита: глинистые сланцы с прослоями алевролитов, доломитов; 22 – покьюская свита: кварцитопесчаники с прослоями черных углеродистых сланцев и алевролитов; 23 – пижемская свита: сланцы; 24 – клеоновская свита: кварцитопесчаники и кварцитовидные алевролиты; 25 – долериты среднедевонского канино-тиманского комплекса; 26 – разрывные нарушения: а – надвиги; б – сбросы; в – разломы; 27 – место отбора проб; 28 – нижнемеловые терригенные отложения; 29 – верхнеюрские-нижнемеловые терригенные отложения; 30 – средне-верхнеюрские терригенные отложения; 31 – нижнетриасовые терригенные отложения; 32 – пермские карбонатные, терригенно-карбонатные отложения; 33 – каменноугольные карбонатные, терригенно-карбонатные отложения; 34 – девонские терригенные, терригенно-карбонатные, карбонатные отложения, базальты; 35 – рифейские терригенные, терригенно-карбонатные, карбонатные отложения; 36 – канино-тиманский гипабиссальный позднедевонский долеритовый комплекс: штоки, дайки, силлы базальтов, долеритов; 37 – четласский позднерифейский комплекс щелочных пикритов и карбонатитов; 38 – разрывные нарушения: а – надвиги; б – разломы; 39 – области выходов рифейского фундамента (поднятия): I – Цилемское; II – Четласское; III – Вольско-Вымское; IV – Обдырское; 40 – алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльная палеороссыпь Ичетью; 41 – участок работ (только на обзорной схеме).

*Fig. 1.* Fig. 1. Geological position (a) and scheme of geological structure of the Middle Timan (b), modified after (Parmuzin et al., 2015, 2016) with an inset map of the studied area (c) based on materials of (Pachukovsky et al., 1994).

1 – Churka Formation: clay, quartz sand; 2 – Vetluga Group: intercalation of clay and sandstone; 3 – Severnaya Dvina Group: clayey limestone, siltstone; 4 – Pytyr'yu and Mezen formations: marl, siltstone, sandstone, clay; 5 – Veslyana Formation: limestone with clay interbeds, marl; 6 – Chev'yu Formation: sandstone, siltstone, marl; 7 – Sindor, Vychegda and Vym formations: siltstone, marl, limestone interbeds; 8 – Tobys Sequence: siltstone with interbeds of sandstone, limestone and dolomite; 9 – Vozhega and Upper Kuloy formations: limestone, dolomite, interbeds of clay, marl, siltstone and sandstone; 10 – Burkem, Odessa, Ayyuva formations: limestone, dolomite, sandstone; 11 – Kodach Formation: limestone, dolomite; 12 – Ust'yarega and Kraipol'e formations: intercalated sandstone, siltstone, claystone and clay, clayey limestone and calcareous clay; 13 – Ust Chirka Formation: intercalated clay, claystone, siltstone and sandstone; 14 – Tsilma Formation: intercalated clay, claystone, siltstone and sandstone; 15 – Valsa Formation: tuff, tuffite, tuffaceous sandstone, tuffaceous claystone, interbeds of siltstone, sandstone, claystone and basalt; 16 – Yaran, Listvennaya, Valsa, Tsilema, Ust Chirka formations: intercalated claystone, sandstone, interbeds of siltstone; 17 – Yaran and Listvennaya formations: sandstone, interbeds and lenses of small-pebble conglomerate, intercalation of siltstone, clay and sandstone; 18 – Pizhma Formation: quartz sandstone, interbeds of gravelite, siltstone and claystone; 19 – Paun Formation: limestone, silty shale, dolomite, carbonaceous shale; 20 – Pav'yug Formation: dolomite; 21 – Rochug Formation: clayey shale with of siltstone and dolomite interbeds; 22 – Pok'yu Formation: quartzite sandstone with black carbonaceous shale and siltstone interbeds; 23 – Pizhma Formation: shale; 24 – Kleon Formation: quartzite sandstone and quartzite-like siltstone; 25 – dolerite of the Middle Devonian Kanin-Timan complex; 26 – faults: а – thrusts; б – normal fault, в – fault; 27 – sampling areas; 28–31 – terrigenous deposits: 28 – Lower Cretaceous; 29 – Upper Jurassic-Lower Cretaceous; 30 – Middle-Upper Jurassic; 31 – Lower Triassic; 32, 33 – carbonate and terrigenous-carbonate deposits: 32 – Permian; 33 – Carboniferous; 34 – Devonian terrigenous, terrigenous-carbonate, carbonate deposits, basalt; 35 – Riphean terrigenous, terrigenous-carbonate, carbonate deposits; 36 – Late Devonian Kanin-Timan hypabyssal dolerite complex: stocks, dikes and sills of basalt and dolerite; 37 – Late Riphean Chetlas complex of alkali picrite and carbonatite; 38 – faults: а – overthrusts; б – faults; 39 – outcrops of Riphean basement (uplifts): I – Tsilma; II – Chetlas; III – Vol-Vym; IV – Obdyr; 40 – Ichet'yu diamond-gold-rare earth-rare metal paleoplacer; 41 – working area (only on the overview scheme).

в нижней части сланцами, включая углеродистые и известковистые разности, с редкими прослоями доломитов и известняков. Выше сланцы чередуются с пачками метаалевролитов, метапесчаников и кварцитопесчаников.

Палеозойские (девонские, каменноугольные и пермские) отложения залегают с угловым и стратиграфическим несогласием на рифейском фундаменте. Среднедевонские отложения представлены континентальными кварцевыми песчаниками с

линзами и прослоями конгломератов, алевролитами, аргиллитами, вулканогенными, вулканогенно-осадочными и осадочными породами. Наибольший интерес как возможные промежуточные коллекторы алмазов вызывают яранская и листовенничная свиты, в которых обнаружены пиропы. Свиты представлены кварцевыми песчаниками (нередко с гравием), а также прослоями и линзами мелкогалечных конгломератов. Выше залегают переслаивающиеся алевролиты, глины (аргиллиты) и

Таблица 1. Характеристика изученных шлиховых проб с пиропами  
 Table 1. Characteristic of studied heavy concentrate samples with pyrope

№ пробы	Водоток	Характеристика и возраст отложений	Количество зерен пиропара
1126/2	р. Коренная	Структурный элювий сланцев паунской свиты (RF <sub>3</sub> pn)	1
501517		Кварцевый песчаник яранской и листовенничной свит (D <sub>2</sub> jar-ls)	2
2073/1		Русловый аллювий (голоцен)	1
50406		Террасовый аллювий (голоцен)	1
2183/1	1		
2174/1	р. Кузнечиха	Русловый аллювий (голоцен)	12
2176/1			1
6130/2	р. Кузнечихская Рассоха		1
1135/1	р. Лиственничная		1
2117/1			1
505401	р. Чирка		2

песчаники с примесью пирокластического материала. Верхнедевонские отложения представлены терригенными и реже терригенно-карбонатными отложениями, сложенными песчаниками, алевропесчаниками, алевролитами, аргиллитами, глинами и глинистыми известняками.

Каменноугольные и пермские отложения развиты в западной части Западно-Цилемского блока в пределах Западного Притиманья и Мезенской впадины и представлены, преимущественно, карбонатными и карбонатно-сульфатными отложениями. Триасовые отложения сложены пестроцветными континентальными глинами и песчаниками, юрские – мелководно- и прибрежно-морскими песками и глинами.

Четвертичные отложения в пределах рассматриваемой территории развиты практически повсеместно и представлены осадками плейстоцена и голоцена, среди которых выделены ледниковые отложения печорского, вычегодского, лайского и полярного горизонтов; межледниковые отложения озерно-аллювиального, аллювиально-озерного и аллювиального генезиса; аллювий второй и первой надпойменных террас, а также современный русловый и пойменный аллювий.

Магматические образования, связанные с герцинским тектоно-магматическим циклом, представлены субинтрузивными телами долеритов и габбродолеритов канино-тиманского комплекса среднедевонского (живетского) возраста.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Шлихи для исследований были отобраны из четвертичных отложений надпойменных террас, современного руслового аллювия и береговых коренных выходов р. Цильмы и ее притоков – рр. Кузнечихи, Кузнечихской Рассохи, Лиственничной, Чирки и Коренной (табл. 1). Большинство пиропов найдено в пробах из областей развития среднедевонских пижемской, яранской и листовенничной свит. Объем шлиховых проб варьировал от 0.02 до 0.20 м<sup>3</sup>. Количество зерен пироба составило 24 зерна.

Все лабораторные исследования минералов проводились в Центре коллективного пользования «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Россия). Определение размера зерен пиропов и их фотографирование проводены с использованием стереомикроскопов МБС-9 и Ломо ХС2307. Детали микрорельефа поверхности гранатов изучены на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Axia ChemiSEM компании Thermo Fischer Scientific (Чехия) при ускоряющем напряжении 10 кВ. Химический состав гранатов и микровключений в них изучался на СЭМ Tescan VEGA 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) INCA Energy 450 X-MAX 50 mm<sup>2</sup> (EDS) Oxford Instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, размере пучка 180 нм, области возбуждения до 5 мкм, давлении в камере 0.02 Па, накоплении импульсов около 600 000 и времени накопления



спектров 1–2 мин. Анализ состава приполированных срезов пиропов проводился в двух точках – геометрическом центре и на периферии зерен. При пересчете химического состава гранатов на миналы использовались методические принципы, изложенные (Булах, 1964). Двух и трехвалентное железо распределялось, исходя из представления о стехиометрических соотношениях в теоретической формуле граната. В использованном алгоритме расчета долей миналов кноррингитовый компонент рассчитывался последним. Эмпирические формулы микровключений в пиропе рассчитывались катионным методом (Булах, 1964). Дальность переноса пиропов от коренного источника оценена по механическому износу их поверхности на основе принципов классификации, предложенной Л.А. Зиминим (Хмельков, 2008).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Морфологическая характеристика пиропов Цилемского поднятия

Мелкообъемные (0.02 м<sup>3</sup>) шлиховые пробы в среднем содержат по одному-двум зернам пиропов. Они имеют характерный лиловый цвет разной насыщенности с фиолетовым и красным оттенками (рис. 2, 3). Размер зерен варьирует в относительно узком интервале от 0.3 до 0.8 мм и по среднему размеру пиропы попадают в два гранулометрических класса: +0.25–0.50 мм (67 %) и +0.5–1.0 мм (33 %).

Для подавляющего большинства зерен пиропов характерны обломочные формы, среди которых выделяются умеренно-уплощенные, умеренно-удлиненные, угловато-округлые и округло-угловатые обломки (рис. 2). Преобладают зерна округлой и овальной формы (рис. 2а, в, г).

Зерна пиропов характеризуются глянцевой (леденцовой) поверхностью с зеркальным блеском (рис. 2а–д). Глянец наблюдается как на округлых криволинейных участках, так и на плоских сколотых поверхностях. Под электронным микроскопом отчетливо видно, что на гладких участках с зеркальным блеском (рис. 4а–г) присутствуют ямки растворения (травления), имеющие геометрически правильные, одинаковые контуры и кристаллографически упорядоченное расположение (рис. 4б, з).

Изученные зерна пиропов имеют бугорчатый микрорельеф, чаще обнаруживаемый в пробах, отобранных в области развития среднедевонских пород (рис. 2л, м, п, р, 4а, б, ж, з). Типичной особен-

ностью всех изученных пиропов являются сколы, включая крупные выбоины. В некоторых образцах заметны внутренние трещины.

Пиропы класса I (с минимальным износом) встречаются редко, составляя 17 % (4 зерна). Они характеризуются угловатой формой, редкими выбоинами на бугорках, острыми ребрами и вершинами. По одному зерну такой морфологии найдено в грубообломочном современном аллювии р. Кузнечихи (рис. 2п, 4а, б) и р. Чирки (рис. 3а) в поле развития среднедевонских существенно кварцевых пород. Два пироповых зерна с хорошо сохранившейся поверхностью найдены в протолочной пробе из кварцевых песчаников среднедевонских яранской и листовенничной свит (рис. 3в, г), отобранной в бассейне р. Коренной.

Пиропы класса II являются самыми распространенными (50 %). В стереомикроскопе истертость ребер и вершин пиропов этого класса представлена как матировка при сохранении зеркального блеска первичных поверхностей (рис. 2е). Под электронным микроскопом видно, что изношенные ребра изобилуют хаотически расположенными микроскопическими ямками и микробороздами (рис. 4в, г). Десять из двенадцати зерен пиропов этого класса найдены в пробах из современного аллювия р. Кузнечихи. Еще два пиропов обнаружены в двух пробах долины р. Коренной. Одно из них найдено в структурном элювии паунской свиты на контакте с породами яранской и листовенничной свит (рис. 3д). Второе выделено из шлиховой пробы, отобранной из современного аллювиального псефита (рис. 3е).

Пиропы класса III (с интенсивным износом) также распространены (33 %) и найдены практически во всех водотоках, где отбирались шлиховые пробы. Эти зерна почти лишены зеркального блеска, непрозрачны или полупрозрачны, их поверхность шероховатая, матовая (рис. 2ж). Под электронным микроскопом видно, что значительная часть поверхности пиропов этого класса покрыта многочисленными хаотически расположенными разноразмерными ямками и выбоинами (рис. 4д, е).

### Химический состав пиропов Цилемского поднятия

Содержание MgO в изученных гранатах изменяется от 17.5 до 22.4 мас. % (табл. 2). Содержание расчетного пиропового минала  $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$  составляет 62–78 %. Содержание FeO в гранатах варьирует от 5.8 до 10.4 мас. % и обуславливает со-

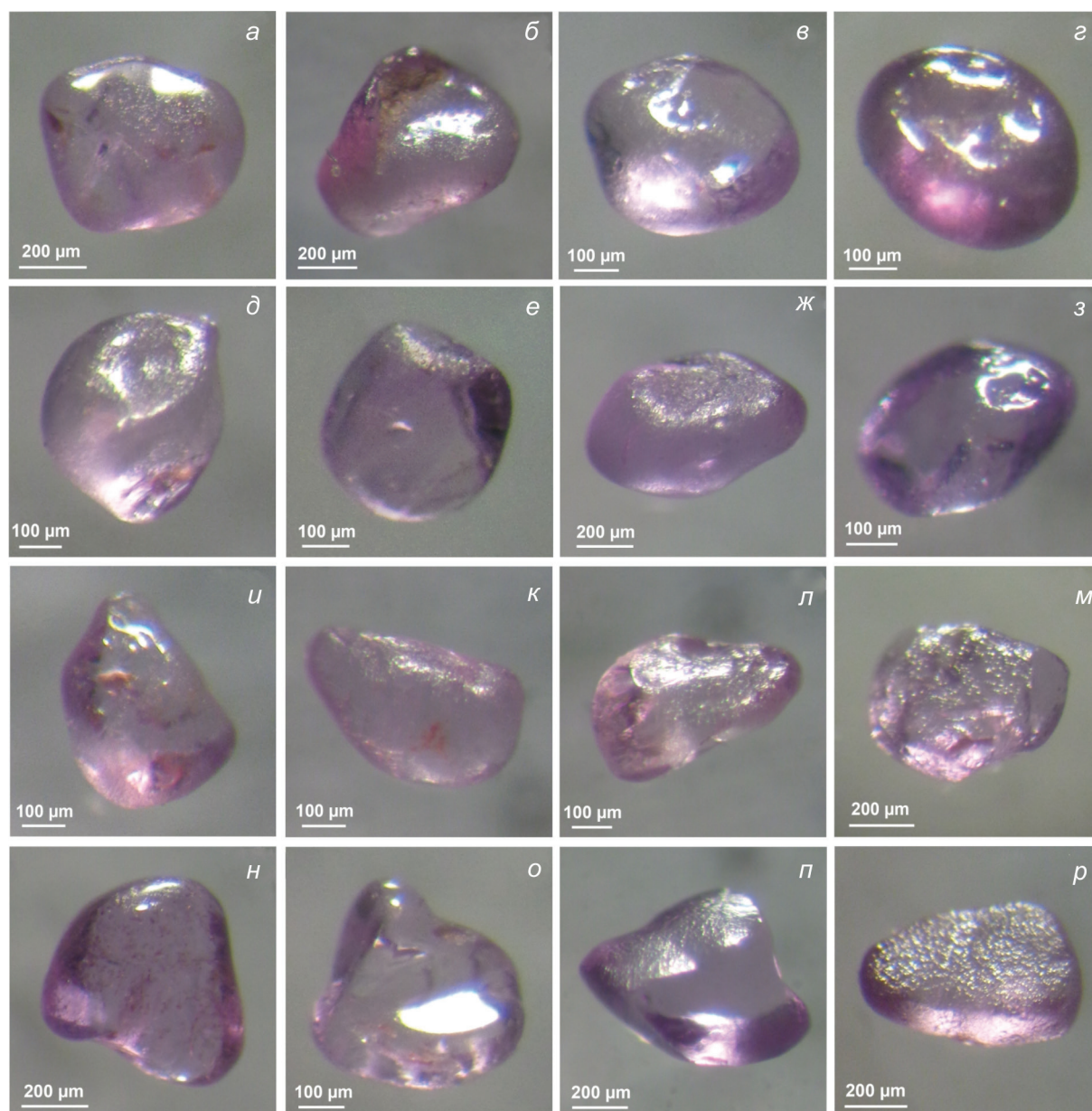


Рис. 2. Морфология и поверхность пиропов из современных аллювиальных псефитов бассейнов рр. Лиственничная (а, б) и Кузнечиха (в–р).

Fig. 2. Morphology and surface of pyrope from present-day alluvial psephites of the Listvennichnaya (a, б) and Kuznechikha (в–р) river basins.

держание второго по значимости (после пиропового) алмандинового минала  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ , содержание которого варьирует от 11 до 21 %. Содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  составляет 1.6–8.1 мас. %, соответственно, содержание уваровитового минала  $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$  изменяется в интервале от 4 до 12 %. Для двух зерен с повышенным содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (6.8 и 8.1 мас. %) минеральный состав рассчитан из предполагаемого присутствия кноррингитового минала  $\text{Mg}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$ , содержания которого со-

ставляют 8–11 %. Содержание  $\text{CaO}$  составляет 3.2 до 6.3 мас. %, соответственно, содержаниеgrossуларового минала  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  – 1–7 %. Гранаты содержат  $\text{MnO}$ , содержание которого варьирует от 0.2 до 0.7 мас. %, соответственно, содержание спессартинового минала  $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  не превышает 1 %. Незначительное количество расчетного трехвалентного железа дает вклад андрадитового минала  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$ , не превышающий 1 %.



Рис. 3. Морфология пиропов из современных аллювиальных псефитов р. Чирки (а, б) и разновозрастных коллекторов долины р. Коренной (в–ж): в, г – кварцевый песчаник яранской и листовенничной свит; д – рифейский структурный элювий на границе с перекрывающими породами яранской и листовенничной свит; е – современный аллювиальный псефит; ж – четвертичный аллювиальный псефит первой надпойменной террасы.

Fig. 3. Morphology of pyrope from present-day alluvial psephites of the Chirka River (a, б) and various reservoirs of the Korennaya River valley (в–ж): в, г – quartz sandstone of the Yaran and Listvennaya formations; д – Riphean structural residue at the boundary with overlying rocks of the Yaran and Listvennaya formations; е – present-day alluvial psephite; ж – Quaternary alluvial psephite of the first floodplain terrace.

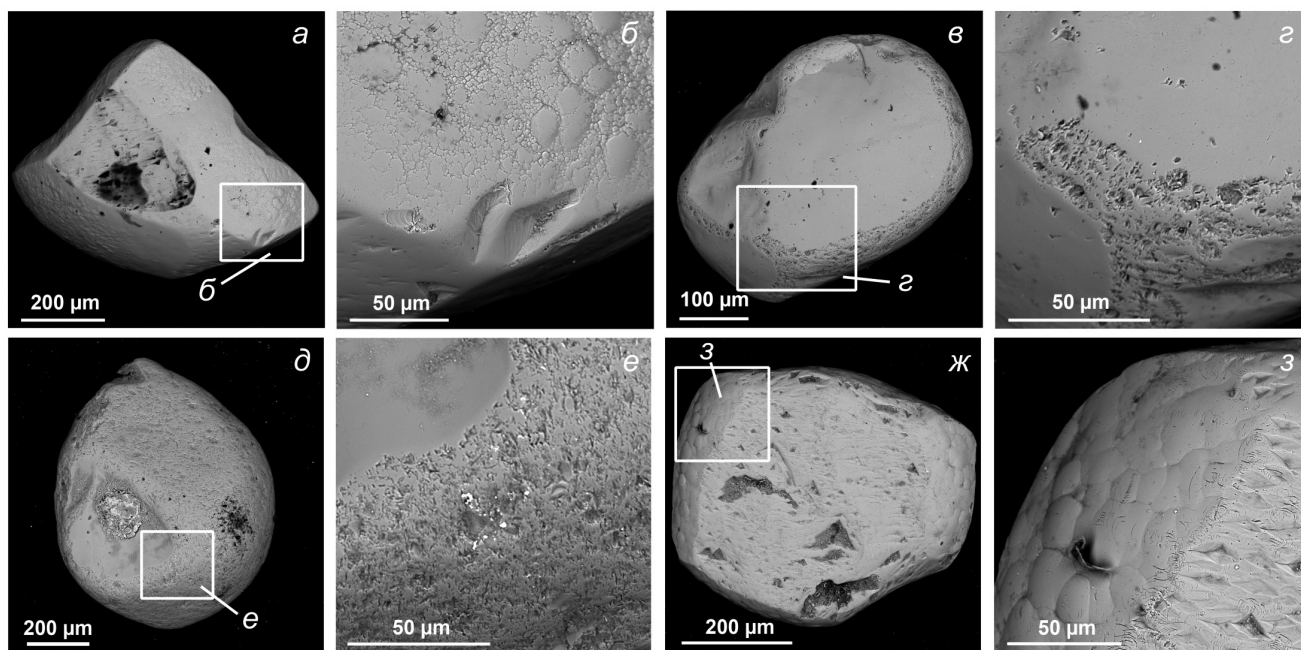
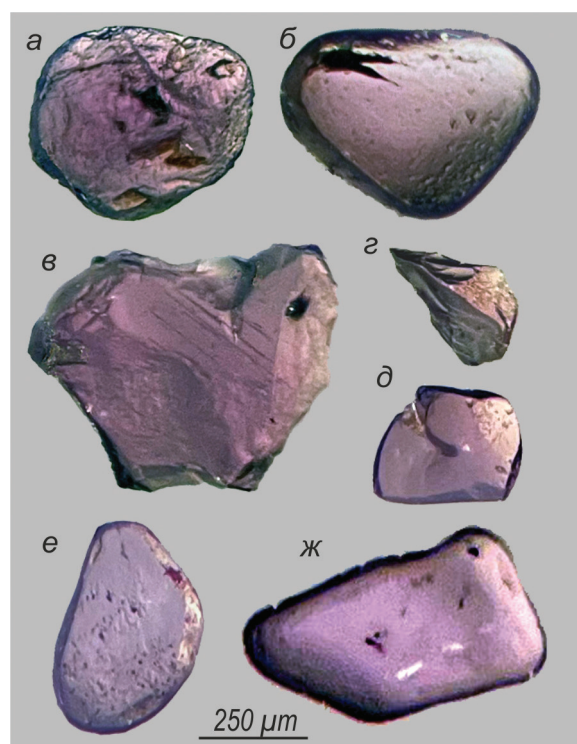


Рис. 4. Классы механического износа поверхности и детали микрорельефа пиропов: а, б – I; в, г – II; д, е – III; ж, з – элементы гипергенно-модифицированной поверхности «псевдокубоида». Здесь и на рис. 6 – BSE фото.

Fig. 4. Classes of mechanical wear of pyrope surface and its details: а, б – I; в, г – II; д, е – III; ж, з – elements of the supergene surface of “pseudocuboid”. Here and in Fig. 6 – BSE images.

Таблица 2. Химический состав пиропов Цилемского поднятия  
 Table 2. Chemical composition of pyrope from the Tsilma uplift

№ обр.	Область анализа	Компонент, мас. %								Минальный состав
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Сумма	
р. Лиственничная										
1135/1	ц к	41.44	22.32	2.59	7.30	0.44	20.28	5.21	99.58	Prp <sub>72</sub> Alm <sub>14</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.95	22.31	2.64	7.47	0.37	20.07	5.43	100.24	Prp <sub>71</sub> Alm <sub>15</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
2117/1	ц к	41.52	21.88	2.90	7.86	0.55	19.74	5.69	100.14	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>15</sub> Uv <sub>8</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>
		41.66	22.14	2.88	7.52	0.53	19.94	5.58	100.25	Prp <sub>70</sub> Alm <sub>15</sub> Uv <sub>8</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
р. Кузнечиха										
2174/1/1	ц к	41.56	22.23	2.46	8.43	0.48	19.38	5.51	100.05	Prp <sub>68</sub> Alm <sub>17</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>7</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.49	21.99	2.46	8.28	0.51	19.41	5.52	99.66	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>16</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>
2174/1/2	ц к	42.01	22.58	2.31	6.89	0.38	20.63	5.57	100.37	Prp <sub>72</sub> Alm <sub>14</sub> Grs <sub>7</sub> Uv <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.84	22.69	2.23	6.63	0.26	21.02	5.43	100.10	Prp <sub>73</sub> Alm <sub>13</sub> Grs <sub>7</sub> Uv <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
2174/1/3	ц к	41.84	23.00	1.59	8.95	0.39	19.79	4.86	100.42	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>18</sub> Grs <sub>8</sub> Uv <sub>4</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.85	22.88	1.61	8.51	0.49	19.75	5.05	100.14	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>17</sub> Grs <sub>8</sub> Uv <sub>5</sub> Sps <sub>1</sub>
2174/1/4	ц к	42.54	22.51	2.31	6.86	0.39	22.31	3.32	100.24	Prp <sub>78</sub> Alm <sub>13</sub> Uv <sub>6</sub> Grs <sub>1</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>
		42.31	22.67	2.19	6.98	0.33	22.37	3.21	100.06	Prp <sub>78</sub> Alm <sub>13</sub> Uv <sub>6</sub> Grs <sub>2</sub> Sps <sub>1</sub>
2174/1/5	ц к	42.09	22.30	2.34	6.48	0.24	20.81	5.70	99.96	Prp <sub>73</sub> Alm <sub>12</sub> Grs <sub>7</sub> Uv <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>
		41.89	22.02	2.42	6.32	0.28	20.86	5.64	99.43	Prp <sub>73</sub> Alm <sub>12</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>
2174/1/6	ц к	41.65	21.87	3.16	7.52	0.47	19.74	5.83	100.24	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>15</sub> Uv <sub>9</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.30	21.64	3.10	7.60	0.52	19.51	5.74	99.41	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>15</sub> Uv <sub>9</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
2174/1/7	ц к	42.19	22.38	2.42	6.19	0.37	21.58	5.11	100.24	Prp <sub>75</sub> Alm <sub>11</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>5</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>
		41.95	22.47	2.56	5.76	0.39	21.43	5.13	99.69	Prp <sub>75</sub> Alm <sub>11</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
2174/1/8	ц к	41.61	21.53	3.31	7.81	0.46	19.33	5.95	100.00	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>15</sub> Uv <sub>9</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.34	21.61	3.29	7.74	0.40	19.33	6.01	99.72	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>15</sub> Uv <sub>9</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
2174/1/9	ц к	41.22	22.24	2.20	10.32	0.60	17.46	6.33	100.37	Prp <sub>62</sub> Alm <sub>21</sub> Grs <sub>10</sub> Uv <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.20	22.37	2.11	10.45	0.69	17.75	6.03	100.60	Prp <sub>63</sub> Alm <sub>21</sub> Grs <sub>9</sub> Uv <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
2174/1/10	ц к	41.27	17.71	8.13	6.81	0.41	20.25	5.48	100.30	Prp <sub>61</sub> Alm <sub>13</sub> Uv <sub>12</sub> Krr <sub>11</sub> And <sub>2</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.56	17.77	7.95	6.80	0.49	20.45	5.44	100.70	Prp <sub>61</sub> Alm <sub>13</sub> Uv <sub>11</sub> Krr <sub>11</sub> And <sub>3</sub> Sps <sub>1</sub>
2174/1/11	ц к	41.89	21.28	3.36	7.53	0.46	19.94	5.64	100.10	Prp <sub>70</sub> Alm <sub>14</sub> Uv <sub>10</sub> Grs <sub>4</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>
		41.36	21.55	3.39	7.46	0.43	19.89	5.65	99.73	Prp <sub>70</sub> Alm <sub>14</sub> Uv <sub>10</sub> Grs <sub>5</sub> Sps <sub>1</sub>
2174/1/12	ц к	41.74	22.30	2.48	7.44	0.39	19.98	5.62	99.95	Prp <sub>70</sub> Alm <sub>15</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>7</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.46	22.11	2.33	7.71	0.46	19.82	5.54	99.43	Prp <sub>70</sub> Alm <sub>15</sub> Grs <sub>7</sub> Uv <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>
2176/1	ц к	41.92	22.49	2.33	7.61	0.57	20.27	5.37	100.56	Prp <sub>71</sub> Alm <sub>14</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>7</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.65	22.15	2.23	7.59	0.46	20.27	5.17	99.52	Prp <sub>72</sub> Alm <sub>14</sub> Grs <sub>6</sub> Uv <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>
2183/1	ц к	41.67	22.20	2.69	7.36	0.41	20.07	5.74	100.14	Prp <sub>70</sub> Alm <sub>14</sub> Uv <sub>8</sub> Grs <sub>7</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.65	22.07	2.78	7.07	0.42	20.06	5.64	99.69	Prp <sub>71</sub> Alm <sub>14</sub> Uv <sub>8</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
р. Кузнечихская Рассоха (правый исток р. Кузнечихи)										
6130/2	ц к	41.31	21.21	3.88	7.94	0.43	19.15	6.27	100.19	Prp <sub>67</sub> Alm <sub>16</sub> Uv <sub>11</sub> Grs <sub>5</sub> Sps <sub>1</sub>
		41.62	21.16	3.65	7.82	0.32	19.11	6.24	99.92	Prp <sub>68</sub> Alm <sub>16</sub> Uv <sub>10</sub> Grs <sub>5</sub> Sps <sub>1</sub>
р. Коренная										
1126/2	ц	41.53	21.86	2.57	8.60	0.50	19.44	5.46	99.97	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>16</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>
2073/1	ц	41.62	22.72	1.73	9.00	0.48	19.52	5.05	100.13	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>18</sub> Grs <sub>8</sub> Uv <sub>5</sub> Sps <sub>1</sub>
2073/1	ц	41.63	21.53	3.51	7.75	0.47	20.32	5.01	100.22	Prp <sub>72</sub> Alm <sub>15</sub> Uv <sub>10</sub> Grs <sub>2</sub> Sps <sub>1</sub>
501517/1	ц	41.66	21.64	3.58	7.64	0.38	20.26	4.99	100.15	Prp <sub>71</sub> Alm <sub>15</sub> Uv <sub>10</sub> Grs <sub>3</sub> Sps <sub>1</sub>
501517/2	ц	41.72	22.12	2.53	7.94	0.42	19.83	5.37	99.93	Prp <sub>70</sub> Alm <sub>16</sub> Uv <sub>7</sub> Grs <sub>6</sub> Sps <sub>1</sub>
р. Чирка										
505401/1	ц	41.68	18.48	6.80	6.57	0.30	20.61	5.75	100.52	Prp <sub>65</sub> Alm <sub>12</sub> Uv <sub>11</sub> Krr <sub>8</sub> And <sub>3</sub> Sps <sub>1</sub>
505401/2	ц	41.77	22.62	1.62	9.22	0.40	19.51	4.96	100.10	Prp <sub>69</sub> Alm <sub>18</sub> Grs <sub>7</sub> Uv <sub>5</sub> Sps <sub>1</sub> Adr <sub>1</sub>

Примечание. ц – центр, к – кайма. Миналы: Prp – пироповый, Alm – альмандиновый, Uv – уваровитовый, Grs – грассуляровый, Sps – спессартиновый, Adr – андрадитовый, Krr – кноррингитовый. Содержание TiO<sub>2</sub> в обр. 2174/10 в центре и на краю зерна – 0.24 мас. %, в обр. 505401/1 в центре – 0.33 мас. %.

Note. ц – center, к – rim. Garnet end-members: Prp – pyrope, Alm – almandine, Uv – uvarovite, Grs – grossular, Sps – spessartine, Adr – andradite, Krr – knorringite. The TiO<sub>2</sub> content of pyrope is 0.24 wt. % (sample 2174/10 both in the center and the rim) and 0.33 wt. % (sample 505401/1 in the center).

На дискриминантной диаграмме Н.В. Со-  
 болева наибольшая часть фигуративных точек из-  
 ученных пиропов локализована в поле лерцолито-  
 вого парагенезиса (рис. 5). Наиболее плотное поле

точек находится в узком диапазоне содержаний  
 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1.7–3.6 мас. %) и CaO (4.9–6.2 мас. %). В это  
 поле попадают составы пиропов практически из  
 всех мест пробоотбора, за исключением пироба из

аллювия р. Кузнечихской Рассохи – правого истока р. Кузнечихи. Его состав отличается повышенным содержанием  $\text{CaO}$  (6.3 мас. %) и формально попадает в поле верлитового парагенезиса. Пиропы из среднедевонского коллектора р. Коренной в пределах лерцолитового поля несколько обособляются от общей группы. Еще один состав пироба с повышенным содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (6.8 мас. %) выходит за пределы основного поля. В поле дунитов-гарцбургитов попадает два зерна пиропов из пробы, отмытой в р. Кузнечихе. В одном случае это бледно-лиловый гранат с низким содержанием  $\text{CaO}$  (3.3 мас. %), в другом – темно-лиловый гранат с самым высоким содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (8.0 мас. %).

### Микровключения в пиробах Цилемского поднятия

По особенностям внутреннего строения изученные пиробы можно подразделить на два подтипа. Первый подтип характеризуется однородным строением и является самым распространенным (83 % в выборке). Второй менее распространенный подтип с неоднородным строением содержит микровключения гипогенных минералов в пиробах различных водотоков Цилемского поднятия, за исключением р. Чирки. В одном пиробовом зерне из бассейна р. Кузнечихи обнаружены многочисленные двухфазные включения, состоящие из овально-вытянутых сростков хромшпинелидов и энстатита размером от 1 до 10 мкм (рис. 6д, е). Распределение относительно крупных включений (десятки микрометров) выглядит незакономерно, а более мелкие включения (первые микрометры) по длинной оси ориентированы согласно кристаллографическим направлениям вмещающего минерала (рис. 6е, з). Установлены единичные включения, представленные упорядоченно расположенными пироксеном и хромшпинелидом, в которых одновременно находилось несколько фаз. Также в пиробах отмечены обособленные друг от друга включения пироксена и хромшпинелида.

В одном зерне из бассейна р. Кузнечихи обнаружены редкие случайно расположенные однофазные и полифазные включения размером 0.5–24.0 мкм (рис. 6ж, з). Самое крупное трехфазное включение состоит из ортопироксена, хромшпинелида и рутила. Двухфазное включение представлено сростком ортопироксена и хромшпинелида. Выявлено также несколько однофазных включений хромшпинелида (~5 мкм) и мельчайших (доли микрометра) включений рутила.

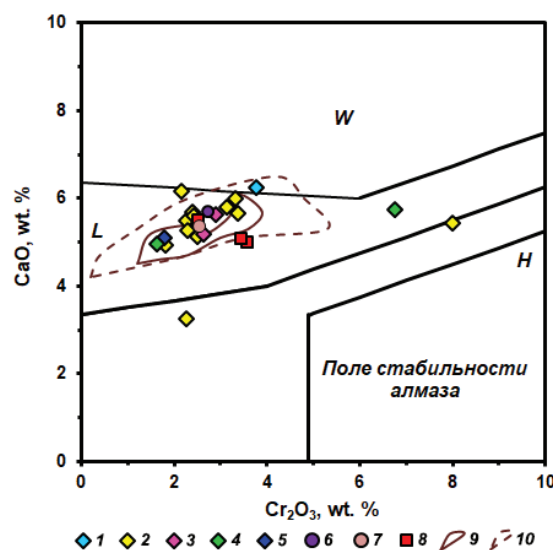


Рис. 5. Состав пиропов Цилемского поднятия (1–8) и Умбинского кимберлитового поля (9, 10) на диаграмме Н.В. Соболева (1974). Поля гранатов различных парагенезисов: W – верлиты; L – лерцолиты; H – дуниты и гарцбургиты.

1–5 – четвертичные аллювиальные псефиты: 1 – р. Кузнечихская Рассоха; 2 – р. Кузнечиха; 3 – р. Лиственничная; 4 – р. Чирка; 5 – р. Коренная; 6, 7 – четвертичные аллювиальные псефиты надпойменных террас: 6 – р. Кузнечиха; 7 – р. Коренная; 8 – среднедевонский кварцевый песчаник и структурный элювий пород яранской и лиственничной свит (р. Коренная); 9, 10 – контуры плотности точек состава пиропов Умбинской трубки (Саблуков и др., 2009): 9 – высокая; 10 – низкая.

Fig. 5. Composition of pyrope from the Tsilema area (1–8) and Umba kimberlite field (9, 10) in diagram of Sobolev (1974). Fields of garnets of various assemblages: W – werlite; L – lherzolite; H – dunite and harzburgite.

1–5 – Quaternary alluvial psephite: 1 – Kuznetsikhinskaya Rassokha River; 2 – Kuznechikha River; 3 – Listvennichnaya River; 4 – Chirka River; 5 – Korennaya River; 6, 7 – Quaternary alluvial psephite of the upper floodplain terraces: 6 – Kuznechikha River; 7 – Korennaya River; 8 – Middle Devonian quartz sandstone and structural residue of rocks of the Yaran and Listvennichnaya formations (Korennaya River); 9, 10 – density contours of pyrope composition of the Umba pipe (Sablukov et al., 2009): 9 – high; 10 – low.

В единственном зерне пироба из бассейна р. Лиственничной обнаружены многочисленные микровключения хромшпинелидов изометричной или вытянутой пластинчатой формы размером от долей микрометра до 4 мкм (рис. 6в, г). Распределение микровключений в зерне незакономерное, однако, по их длинной оси просматривается ориентировка по кристаллографическим направлениям пироба.



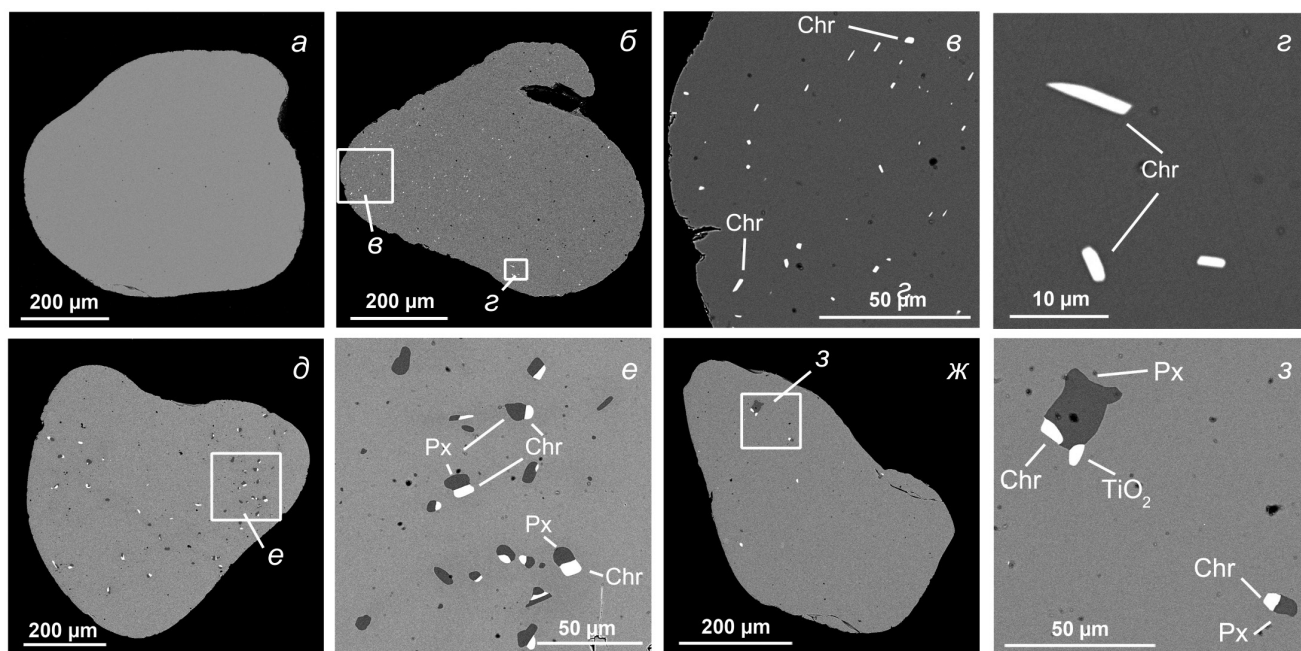


Рис. 6. Внутреннее строение пиропов Цилемского поднятия и микровключения в них: а – однородное, б–з – неоднородное с микровключениями хромшпинелидов (Chr), ортопироксена (Px) и рутилоподобной фазы ( $\text{TiO}_2$ ).

Fig. 6. Inner structure of pyrope of the Tsilma Uplift with microinclusions: а – homogeneous; б–з – heterogeneous with microinclusions of chromite (Chr), orthopyroxene (Px) and rutile-like phase ( $\text{TiO}_2$ ).

В единственном зерне пироба из бассейна р. Коренной обнаружены единичные вытянутые микровключения хромшпинелидов размером  $5 \times 10$  мкм (рис. 6).

Состав микровключений в пиробах и соответствующие эмпирические формулы приведены в таблице 3. Точки состава хромшпинелидов из микровключений (рис. 7) на диаграмме Н.В. Павлова (Павлов, 1949) локализуются на границе между полями хромпикотита, феррихромпикотита и алюмохромита. На рисунке 7 фигуративные точки образуют три условных поля, которые не связаны с географией пробоотбора шлиховых проб. Некоторые отличия состава хромшпинелидов из пиробов связаны с варьирующим содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и расчетными соотношениями двухвалентного и трехвалентного железа.

В хромшпинелидах всегда фиксируется ванадий (0.2–0.4 мас. %  $\text{V}_2\text{O}_5$ ), спорадически – цинк (0.2–0.4 мас. %  $\text{ZnO}$ ), в одном случае – марганец (0.3 мас. %  $\text{MnO}$ ) и титан (0.1–0.8 мас. %  $\text{TiO}_2$ ). В энстатите присутствует железо – от 3 до 5 мас. %  $\text{FeO}$ , а также кальций, алюминий и хром.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Пиробы Цилемского поднятия по морфологии, составу, характеру микровключений и внутреннему строению, а, следовательно, и по генезису, во многом схожи с пиробами других районов Среднего Тимана (бассейн р. Увья на Четласском поднятии; Умбинское кимберлитовое поле на Вольско-Вымской гряде).

Преобладание магматически овализированных («леденцовых») и обломочных угловато-округлых форм с характерным зеркальным блеском свидетельствует о взаимодействии изученных пиробов с кимберлитовым расплавом. Предполагается, что овализация пиробов происходит в глубинных обстановках и является результатом оплавления гранатовых зерен при взаимодействии с кимберлитовым расплавом (Афанасьев и др., 2001).

Еще одна особенность морфологии пиробов – экзогенная механическая изношенность. Традиционно под механическим износом пиробовых зерен подразумевается их окатанность, которая так же, как и магматическое растворение, способствует округлению. Однако у механического износа есть свои особенности. Если для округленных преимущественно вследствие растворения в мантии пиробов

Таблица 3. Химический состав минеральных включений в пиробах  
Table 3. Chemical composition of mineral inclusions in pyrope

№ п/п	№ обр.	Компонент, мас. %									Эмпирическая формула
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	FeO	MgO	CaO*	ZnO	Сумма	
Хромшпинель											
1	2117/1	16.03*	24.23	27.73	0.23	13.64	16.74	2.12	—	101.03	(Mg <sub>0.86</sub> Fe <sub>0.13</sub> Mn <sub>0.01</sub> )(Al <sub>0.98</sub> Cr <sub>0.75</sub> Fe <sub>0.26</sub> V <sub>0.01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
2		10.64*	24.74	32.95	0.24	14.89	16.49	1.37	—	101.45	(Mg <sub>0.80</sub> Fe <sub>0.20</sub> )(Al <sub>0.95</sub> Cr <sub>0.84</sub> Fe <sub>0.20</sub> V <sub>0.01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
3		12.32*	22.74	31.25	—	14.96	15.56	2.05	—	98.88	(Mg <sub>0.80</sub> Fe <sub>0.20</sub> )(Al <sub>0.92</sub> Cr <sub>0.85</sub> Fe <sub>0.23</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
4		11.71*	24.45	31.77	—	14.53	16.07	1.86	—	100.39	(Mg <sub>0.80</sub> Fe <sub>0.20</sub> )(Al <sub>0.96</sub> Cr <sub>0.84</sub> Fe <sub>0.20</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
5	2174/1/3	0.20*	33.54	35.38	0.38	12.84	16.07	0.08	0.24	98.73	(Mg <sub>0.70</sub> Fe <sub>0.29</sub> Zn <sub>0.01</sub> )(Al <sub>1.15</sub> Cr <sub>0.82</sub> Fe <sub>0.02</sub> V <sub>0.01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
6		1.44*	31.03	36.77	0.41	13.23	15.55	—	0.41	99.59	(Mg <sub>0.68</sub> Fe <sub>0.31</sub> Zn <sub>0.01</sub> )(Al <sub>1.09</sub> Cr <sub>0.86</sub> Fe <sub>0.02</sub> Ti <sub>0.02</sub> V <sub>0.01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
7	2174/1/7	—	26.16	44.78	0.26	11.52	16.50	0.14	—	99.36	Mg <sub>0.73</sub> Fe <sub>0.27</sub> )(Cr <sub>1.05</sub> Al <sub>0.92</sub> Fe <sub>0.02</sub> V <sub>0.01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
8		0.30*	26.28	44.33	0.22	11.29	16.46	—	—	98.88	(Mg <sub>0.73</sub> Fe <sub>0.27</sub> )(Cr <sub>1.05</sub> Al <sub>0.93</sub> Fe <sub>0.02</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
9		0.40*	26.58	43.94	0.28	11.08	16.93	0.16	0.26	99.63	(Mg <sub>0.75</sub> Fe <sub>0.24</sub> Zn <sub>0.01</sub> )(Cr <sub>1.03</sub> Al <sub>0.93</sub> Fe <sub>0.03</sub> V <sub>0.01</sub> ) <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Пироксен											
10	2174/1/3	57.32	1.42*	0.31*	—	4.56	36.00	0.24	—	99.85	(Mg <sub>0.92</sub> Fe <sub>0.07</sub> Ca <sub>0.01</sub> )SiO <sub>3</sub>
11		56.88	1.41*	0.38*	—	4.79	35.23	0.27	—	98.96	(Mg <sub>0.92</sub> Fe <sub>0.07</sub> Ca <sub>0.01</sub> )SiO <sub>3</sub>
12	2174/1/7	54.36	2.36*	3.55*	—	3.48	36.65	0.18	—	100.58	(Mg <sub>0.95</sub> Fe <sub>0.04</sub> Ca <sub>0.01</sub> )SiO <sub>3</sub>
13		57.59	1.46*	0.44*	—	3.09	36.99	0.26	—	99.83	(Mg <sub>0.95</sub> Fe <sub>0.04</sub> Ca <sub>0.01</sub> )SiO <sub>3</sub>
14		58.17	1.41*	0.51*	—	3.03	37.05	0.22	—	100.39	(Mg <sub>0.95</sub> Fe <sub>0.04</sub> Ca <sub>0.01</sub> )SiO <sub>3</sub>

Примечание. \* — содержания CaO обусловлены влиянием пироба. Содержание TiO<sub>2</sub> составляет 0.13 и 0.75 мас. % в ан. №№ 2 и 6 соответственно; содержание MnO в ан. № 1 — 0.31 мас. %. Прочерк — не обнаружено.

Note. \* — the presence of CaO reflects the influence of pyrope. The TiO<sub>2</sub> content is 0.13 and 0.75 wt. % in analyses nos. 2 and 6, respectively; the MnO content of analysis no. 1 is 0.31 wt. %. Dash — not detected.

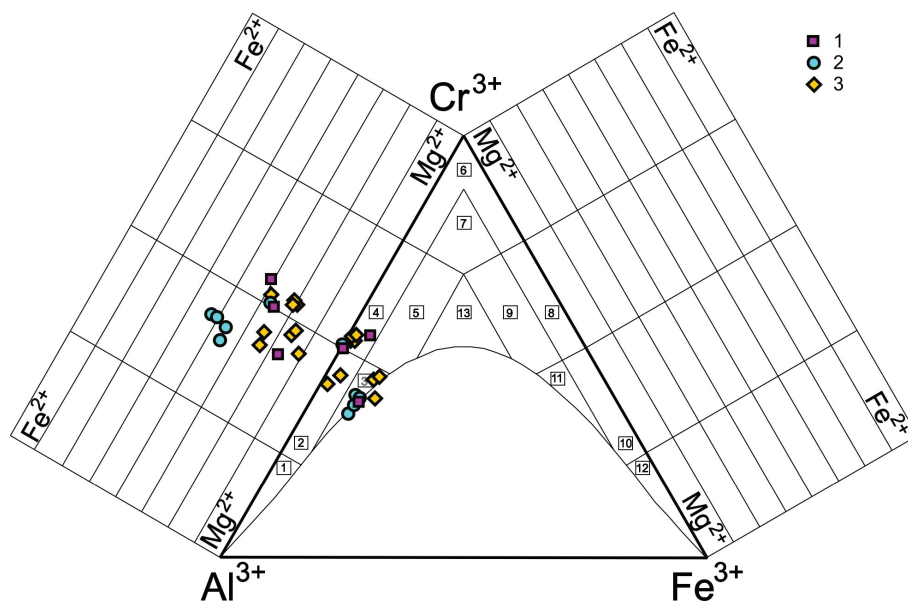


Рис. 7. Al<sup>3+</sup>–Cr<sup>3+</sup>–Fe<sup>3+</sup>–Mg<sup>2+</sup>–Fe<sup>2+</sup> тригонограмма состава включений хромшпинелидов в пиробах Цилемского поднятия (3), бассейна р. Увью на Четласком Камне (1) и Кыввожского золотороссыпного поля Вольско-Вымской гряды (2). Числа в квадратах — классификационные поля составов шпинелей в системе твердых растворов хромит-пикотит-магнетит по (Павлов, 1949): 1 — пикотит; 2 — хромпикотит; 3 — субферрихромпикотит; 4 — алюмохромит; 5 — субферриалюмохромит; 6 — хромит; 7 — субферрихромит; 8 — феррихромит; 9 — субалюмоферрихромит; 10 — хроммагнетит; 11 — субалюмохроммагнетит; 12 — магнетит; 13 — ферриалюмохромит.

Fig. 7. Al<sup>3+</sup>–Cr<sup>3+</sup>–Fe<sup>3+</sup>–Mg<sup>2+</sup>–Fe<sup>2+</sup> trigonogram of the composition of chromite inclusions in pyrope of the Tsilema Uplift (3), Uv'yuy River basin on the Chetlas Kamen (1) and the Kyvvozh gold placer field of the Vol-Vym Range (2).

Numbers in squares are the compositionalfields of spinel in the chromite-picotite-magnetite solid solution system after (Pavlov, 1949): 1 – picotite; 2 – chrompicotite; 3 – subferrichrompicotite; 4 – aluminochromite; 5 – subferri-aluminochromite; 6 – chromite; 7 – subferrichromite; 8 – ferrichromite; 9 – subalumoferrichromite; 10 – chrommagnetite; 11 – subalumochrommagnetite; 12 – magnetite; 13 – ferri-aluminochromite.

пов присущ зеркальный блеск, то при экзогенном механическом изнашивании происходит эрозионная матировка поверхности, и зерна пиропов теряют блеск. Большая часть исследованных пиропов характеризуется существенно изношенными поверхностями, соответствующими по классификации Л.А. Зимина II и III классам, что может свидетельствовать об удаленности от коренных источников на расстояние от десятков до сотен километров (Хмельков, 2008). Пиропы с незначительно изношенной поверхностью крайне редки, но тем не менее тоже встречаются.

Микробугорчатый рельеф поверхности большинства пиропов вместе с присутствием близких к «кубоиду» зерен указывает на растворение в условиях гипергенеза и является типичным для пиропов из промежуточных осадочных коллекторов (Афанасьев и др., 2001; Савко и др., 2007). По нашим данным, гипергенный бугорчато-черепитчатый микрорельеф имеется также у пиропов из элювизированной части кимберлитовой трубки Водораздельная на севере Вольско-Вымской гряды. Учитывая, что большинство пиропов найдено в шлиховых пробах из аллювиальных отложений в области развития среднедевонских пород и в протоочных пробах этих пород, логично предположить, что именно они являются промежуточными коллекторами. Более широкое распространение этих пород на Цилемском поднятии по сравнению с северной частью Вольско-Вымской гряды и Четласским поднятием дает основание полагать сопоставимый потенциал алмазности этих территорий.

Присутствие на поверхности изученных зерен сколов, крупных выбоин, а также внутренних трещин является типичной особенностью кимберлитовых пироповых гранатов. Однако вопрос о природе трещиноватости и, как следствие, оскольчатости кимберлитовых МСА в настоящее время нельзя считать окончательно решенным. С одной стороны, высокая скорость подъема глубинных алмазосодержащих магм, порождающая резкую смену давления и температуры, должна способствовать трещиноватости или нахождению кимберлитовых пиропов в напряженном состоянии в течение какого-то времени до периода полной релаксации (Силаев и др., 2008). С другой стороны, имеются данные, что их трещиноватость вызвана эпигенетическими процессами, а растрескивание формируется непосредственно при выветривании (Афанасьев и др., 2001).

Анализ составов исследуемых пиропов показывает, что среди них доминируют пиропы из

пород верхней мантии (Соболев, 1974). Локализация преобладающей части пиропов на диаграмме  $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{—CaO}$  в поле лерцолитового парагенезиса наблюдается и в других районах Среднего Тимана с некоторыми региональными особенностями, выраженные иным положением областей сгущения точек составов (Харьков, 1995; Саблуков и др., 2009; Глухов и др., 2020; Пыстин и др., 2023).

Пиропы с умеренно-повышенными содержаниями  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (6.8–8.1 мас.%) и кноррингитовым миналом (8–11 %), к сожалению, не попадают в поле стабильности алмазов. Но на Среднем Тимане в бассейне р. Увью в пределах Четласского Камня юго-восточнее Цилемского поднятия отмечаются высокохромистые пиропы из гарцбургит-дунитового парагенезиса, ассоциирующегося с алмазами (Пыстин и др., 2023). Учитывая при этом имеющиеся россыпные алмазы на Среднем Тимане, имеются перспективы обнаружения их коренных источников (Макеев и др., 1999; Пыстин и др., 2023).

Микровключения хромшпинелидов по составу близки к включениям хромшпинелидов в пиропе Кыввожского золотороссыпного поля на Вольско-Вымской гряде (Глухов и др., 2020, 2021) и бассейна р. Увью на Четласском Камне (Пыстин и др., 2023). Можно отметить, что состав включений хромшпинелидов в гранатах Среднего Тимана близок к составам основной массы шпинелей из ряда магматических и россыпных объектов этого же региона, включая хромшпинелиды из среднедевонских псефитов алмаз-золото-редкометалльной россыпи Ичетью и позднерифейских щелочных ультрабазитов Четласского дайкового комплекса (Глухов и др., 2021).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что пиропы Цилемского поднятия (Средний Тиман) по составу, внутреннему строению, характеру микровключений и морфологии, а, следовательно, и по генезису, подобны пиропам других районов Среднего Тимана. Большинство изученных пиропов относится к ряду альмандин-пироп с низким содержанием хромистого уваровитового минала и относятся к группе лерцолитовых пиропов. Отдельные зерна пиропов соответствуют верлитовому и дунит-гарцбургитовому парагенезису. Пиропы из области фазовой стабильности алмаза не обнаружены. Дальность переноса от магматического коренного источника основной массы



пиропов оценивается в десятки и сотни километров, однако присутствие зерен с низкой степенью изношенности не исключает возможного присутствия более близкого коренного источника. Роль промежуточных коллекторов пиропов, вероятнее всего, принадлежит терригенным породам среднедевонского возраста, которые являются наиболее перспективными в отношении потенциальной алмазности Цилемского поднятия.

## ЛИТЕРАТУРА

- Апенко М.А., Матвеева Г.В., Плотникова М.И. (1960) Открытие алмазов на Тимане и перспективы его алмазности. *Труды ВСЕГЕИ «Материалы по изучению алмазов и алмазоносных районов СССР»*. Ленинград, 40, 5–13.
- Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. (2001). Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. Новосибирск, Филиал «Гео» Издательства СО РАН, Издательский дом «Манускрипт», 276 с.
- Булах А.Г. (1964) Руководство и таблицы для расчета формул минералов. М., Недра. 132 с.
- Глухов Ю.В., Макеев Б.А., Сокерин М.Ю. (2020) Типоморфизм глубинных акцессорных минералов Вымской горстовой структуры (Средний Тиман). Оливин, пиропы. *Вестник геонаук*, 10(310), 3–10. <https://doi.org/10.19110/geov.2020.10.1>.
- Глухов Ю.В., Макеев Б.А., Сокерин М.Ю. (2021) Типоморфизм хромшпинелидов из голоценовых псефитов Кывожского золотороссыпного поля (Вольско-Вымская гряда, Средний Тиман). *Вестник геонаук*, 8(320), 3–15. <https://doi.org/10.19110/geov.2021.8.1>.
- Макеев А.Б., Дудар В.А., Лютоев В.П., Деревянко И.В., Глухов Ю.В., Исаенко С.И., Филиппов В.Н. (1999) Алмазы Среднего Тимана. Сыктывкар, Геопринт, 80 с.
- Павлов Н.В. (1949) Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов. *Труды института геологических наук. Серия рудных месторождений*, 103(13), 88 с.
- Пармузин Н.М., Мазуркевич К.Н., Семенова Л.Р., Косовая О.Л., Алексеев М.А., Вукс В.Я., Гаврилова В.А., Горбачевич Н.Р., Евдокимова И.О., Котляр Г.В., Петров Б.В., Степунин А.В., Толмачева Т.Ю., Шаметько В.Г., Шарпенко Л.Н., Якобсон К.Э. (2015) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Q-39 – Нарьян-Мар. Объяснительная записка. СПб, Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 393 с.
- Пармузин Н.М., Якобсон К.Э., Вовшина А.Ю., Воинова О.А., Семенова Л.Р., Мазуркевич К.Н., Горбачевич Н.Р., Шаметько В.Г., Никонова А.С., Петров Б.В., Евдокимова И.О., Косовая О.Л., Котляр Г.В., Гаврилова В.А., Вукс В.Я., Алексеев М.А. (2016) Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Мезенская. Лист Р-39 – Нарьян-Мар. Объяснительная записка. СПб, Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 478 с.
- Пачуковский В.М. (1994) Производство геологического доизучения масштаба 1: 50 000 площади Цилемского Камня на листах Q-39-87-А; Б-а, в; В-б, г; Г; Q-39-99-Б-а, б; Q-39-100-А-а, б. Сыктывкар, ГБУ «ТФИ РК».
- Плякин А.М., Дудар В.А. (2001) Алмазы Тимана. Основные этапы и результаты изучения. *Материалы Всероссийского совещания «Алмазы и алмазность Тимано-Уральского региона»*. Сыктывкар, Геопринт, 25–26.
- Плякин А.М., Ершова О.В. (2012) Золото Тимана. История открытия и изучения. *Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН*, 12, 20–22.
- Плякин А.М., Щербаков Э.С. (2006) История изучения алмазности Среднего Тимана. *Материалы Всероссийского совещания «Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона»*. Сыктывкар, Геопринт, 114–117.
- Пыстин А.М., Глухов Ю.В., Бушенев А.А. (2023) Новая находка алмаза и перспективы коренной алмазности Четласского поднятия (Средний Тиман). *Записки Горного института*, 264, 6, 842–855. <https://doi.org/10.31857/S2686739721010187>
- Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Гриффин В.Л. (2009) Распределение редких элементов в глубинных минералах кимберлитов как признак плюмовых процессов на Севере Русской платформы. *Труды IX международного семинара «Глубинный магматизм, его источники и плюмы»*. Иркутск, Институт географии СО РАН, 1, 134–157.
- Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Ильяш В.В., Чашка А.И. (2007) Новые находки высокобарических минералов в осадочном чехле Воронежской антеклизы – значение для поисков коренных источников алмаза. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*, 1, 43–74.
- Силаев В.И., Чайковский И.И., Ракин В.И., Тетерин И.П. (2008) Признаки осколкообразующей фации алмазов в уральских месторождениях. *Литосфера*, 6, 54–62.
- Соболев Н.В. (1974) Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск, Наука, 263 с.
- Шилов Л.П., Плякин А.М., Алексеев В.И. (2009) Тиманский кряж. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы. Т. 2. Ухта, УГТУ, 437 с.
- Шилов Л.П., Плякин А.М., Алексеев В.И. (2010) Тиманский кряж. История, география, жизнь: Монография. Т. 1. Ухта, УГТУ, 339 с.
- Харитонов Т.В. (2011) Библиография по алмазности Урала. Пермь, 836 с.

Харькив А.Д. (1995) Типизация коренных источников и шлиховых ореолов индикаторных минералов кимберлитов Восточно-Европейской платформы. *Геология и геофизика*, 36(1), 46–56.

Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. (1995) Геолого-генетические основы шлихоминералогического метода поисков алмазных месторождений. М., Недра, 348 с.

Хмельков А.М. (2008) Основные минералы кимберлитов и их эволюция в процессе ореолообразования (на примере Якутской алмазонасной провинции). Новосибирск, АРТА, 252 с.

Чернов А.А. (1960) О перспективах нахождения алмазов в Коми АССР. *Геология и полезные ископаемые Северного Урала и Тимана*. Сыктывкар, Труды Коми филиала АН СССР, 10, 129–134.

Marshall T.R., Baxter-Brown R. (1995) Basic principles of alluvial diamond exploration *Journal of Geochemical Exploration*, 53, 277–292. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00067-L](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00067-L)

Nowicki T.E., Moore R.O., Gurney J.J., Baumgartner M.C. (2007) Chapter 46. Diamonds and associated heavy minerals in kimberlite: a review of key concepts and applications. *Developments in Sedimentology: Heavy Minerals in Use*, 58, 1235–1267. [https://doi.org/10.1016/s0070-4571\(07\)58046-5](https://doi.org/10.1016/s0070-4571(07)58046-5)

## REFERENCES

Apenko M.A., Matveeva G.V., Plotnikova M.I. (1960) Discovery of diamonds in Timan and its diamondiferous potential. *Trudy VSEGEI "Metariyaly po izucheniyu almaza i almazonosnykh rayonov SSSR"* (Proceedings of VSEGEI "Materials on Study of Diamonds And Diamondiferous Regions of the USSR"). Leningrad, 40, 5–13. (in Russian)

Afanasyev V.P., Zinchuk N.N., Pokhilenko N.P. (2001). Morphology and morphogenesis of index minerals in kimberlites. Novosibirsk, Geo, Manuscript, 276 p. (in Russian)

Bulakh A.G. (1964) Guide and tables for calculating mineral formulas. Moscow, Nedra, 132 p. (in Russian)

Chernov A.A. (1960) Prospects for finding the diamonds in the Komi ASSR. *Geologiya i poleznye iskopaemye Severnogo Urala i Tamana (Geology and Useful Mineral Deposits of the Northern Urals and Timan)*. Syktyvkar, Trudy Komi filiala AN SSSR (Transactions of the Komi Branch of the Academy of Sciences of the USSR), 10, 129–134. (in Russian)

Glukhov Yu.V., Makeev B.A., Sokerin M.Yu. (2020) Typomorphism of deep accessory minerals of the Vym horst structure (Middle Timan). Olivine, pyropes. *Vestnik geonauk (Bulletin of Geosciences)*, 10 (310), 3–10. <https://doi.org/10.19110/geov.2020.10.1> (in Russian)

Glukhov Yu.V., Makeev B.A., Sokerin M.Yu. (2021) Typomorphism of chrome spinels from the Holocene

psephites of the Kyvvozh gold placer field (Vol-Vym Ridge, Middle Timan). *Vestnik geonauk (Bulletin of Geosciences)*, 8 (320), 3–15. <https://doi.org/10.19110/geov.2021.8.1> (in Russian)

Kharitonov T.V. (2011) Bibliography on diamond potential of the Urals. Perm, 836 p. (in Russian)

Kharkiv A.D. (1995) Classification of primary sources and heavy concentrate halos of index minerals in kimberlites of the East European Platform. *Geologiya i geofizika (Geology and Geophysics)*, 36(1), 46–56. (in Russian)

Kharkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I. (1995) Geological and genetic basis of the heavy concentrate method of prospecting for diamond deposits. Moscow, Nedra, 348 p. (in Russian)

Khmelkov A.M. (2008) Main kimberlite minerals and their evolution during halo formation: example of the Yakut diamondiferous province. Novosibirsk, ARTA, 252 p. (in Russian)

Makeev A.B., Dudar V.A., Lyutov V.P., Derevyanko I.V., Glukhov Yu.V., Isaenko S.I., Filippov V.N. (1999) Diamonds of the Middle Timan. Syktyvkar, Geoprint, 80 p. (in Russian)

Marshall T.R., Baxter-Brown R. (1995) Basic principles of alluvial diamond exploration *Journal of Geochemical Exploration*, 53, 277–292. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)00067-L](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)00067-L)

Nowicki T.E., Moore R.O., Gurney J.J., Baumgartner M.C. (2007) Chapter 46. Diamonds and associated heavy minerals in kimberlite: a review of key concepts and applications. *Developments in Sedimentology: Heavy Minerals in Use*, 58, 1235–1267. [https://doi.org/10.1016/s0070-4571\(07\)58046-5](https://doi.org/10.1016/s0070-4571(07)58046-5)

Pavlov N.V. (1949) Chemical composition of chrome spinels related to petrographic composition of ultramafic intrusive rocks. *Trudy instituta geologicheskikh nauk. Seriya rudnykh mestorozhdeniy (Proceedings of the Institute of Geological Sciences. Ore Deposit Series)*, 103(13), 88 p. (in Russian)

Parmuzin N.M., Mazurkevich K.N., Semenova L.R., Kossovaya O.L., Alekseev M.A., Vuks V.Ya., Gavrilova V.A., Gorbatshevich N.R., Evdokimova I.O., Kotlyar G.V., Petrov B.V., Stepunin A.V., Tolmacheva T.Yu., Shametko V.G., Sharpenok L.N., Yakobson K.E. (2015) State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1000 000 (third generation). Mezen series. Sheet Q-39 – Naryan-Mar. Explanatory note. St. Petersburg, VSEGEI, 2015. 393 p. (in Russian)

Parmuzin N.M., Yakobson K.E., Vovshina A.Yu., Voinova O.A., Semenova L.R., Mazurkevich K.N., Gorbatshevich N.R., Shametko V.G., Nikonova A.S., Petrov B.V., Evdokimova I.O., Kossovaya O.L., Kotlyar G.V., Gavrilova V.A., Vuks V.Ya., Alekseev M.A. (2016) State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1000 000 (third generation). Mezen series. Sheet R-39 – Naryan-Mar. Explanatory note. St. Petersburg, VSEGEI, 478 p. (in Russian)

- Pachukovsky V.M. (1994) Additional geological study on a scale of 1:50000 of the Tsilema Kamen area on sheets Q-39-87-A; B-a, c; B-b, d; G; Q-39-99-B-a, b; Q-39-100-A-a, b. Syktyvkar, GBU "TFI RK". (in Russian)
- Plyakin A.M., Dudar V.A. (2001) Timan Diamonds. Main stages and results of study. *Materialy Vserossiyskogo soveshchaniya "Almazy i almazonosnost Timano-Uralskogo regiona" (Proceedings of the All-Russian Conference "Diamonds and Diamond Potential of the Timan-Ural Region")*. Syktyvkar, Geoprint, 25–26. (in Russian)
- Plyakin A.M., Ershova O.V. (2012) Timan Gold. History of discovery and study. *Vestnik Instituta geologii Komi NTs UrO RAN (Bulletin of the Institute of Geology Komi SC UB RAS)*, 12, 20–22. (in Russian)
- Plyakin A.M., Shcherbakov E.S. (2006) History of study of diamond potential of the Middle Timan. *Materialy Vserossiyskogo soveshchaniya "Almazy i almazonosnost Timano-Uralskogo regiona" (Proceedings of the All-Russian Conference "Diamonds and Diamond Potential of the Timan-Ural Region")*. Syktyvkar, Geoprint, 114–117. (in Russian)
- Pystin A.M., Glukhov Yu.V., Bushenev A.A. (2023) New diamond discovery and prospects for primary diamond potential of the Chetlas Uplift (Middle Timan). *Zapiski Gornogo Instituta (Proceedings of Mining Institute)*, 264, 6, 842–855. <https://doi.org/10.31857/S2686739721010187> (in Russian)
- Sablukov S.M., Sablukova L.I., Griffin V.L. (2009) Distribution of rare elements in deep kimberlite minerals as an indication of plume processes in the northern Russian Platform. *Trudy IX mezhdunarodnogo seminar "Glubiny magmatizm, ego istochiki i plyuny" (Proceedings of the IX International Seminar "Deep Magmatism, Its Sources and Plumes")*. Irkutsk, Institut geografii SO RAN, 1, 134–157. (in Russian)
- Savko A.D., Shevyrev L.T., Ilyash V.V., Chashka A.I. (2007) New findings of high-pressure minerals in sedimentary cover of the Voronezh antecline – significance for searching the primary diamond sources. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya (Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology)*, 1, 43–74. (in Russian)
- Silaev V.I., Chaikovsky I.I., Rakin V.I., Teterin I.P. (2008) Signatures of the fragment-forming facies of diamonds in the Urals deposits. *Litosfera (Lithosphere)*, 6, 54–62. (in Russian)
- Sobolev N.V. (1974) Deep inclusions in kimberlites and the problem of the upper mantle composition. Novosibirsk, Nauka, 263 p. (in Russian)
- Shilov L.P., Plyakin A.M., Alekseev V.I. (2010). Timan Ridge. History, geography, life: Monograph. Vol. 1. Ukhta, USTU, 339 p. (in Russian)
- Shilov L.P., Plyakin A.M., Alekseev V.I. (2009) Timan Ridge. Lithology and stratigraphy, geophysical characteristics of the crust, tectonics, and mineral resources. Vol. 2. Ukhta, UGTU, 437 p. (in Russian)

### Информация об авторах

Пархачев Андрей Александрович – аспирант, ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН; ведущий геолог, Всероссийский научно-исследовательский институт им. А.П. Карпинского (Сыктывкарского сектор), г. Сыктывкар, Россия; [Andrey\\_Parkhachev@karpinskyinstitute.ru](mailto:Andrey_Parkhachev@karpinskyinstitute.ru)

Глухов Юрий Валентинович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия; [Glukhov@geo.komisc.ru](mailto:Glukhov@geo.komisc.ru)

Пархачева Ксения Геннадьевна – младший научный сотрудник, ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия; [ksparhacheva@yandex.ru](mailto:ksparhacheva@yandex.ru)

Макеев Борис Александрович – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия; [makboris@mail.ru](mailto:makboris@mail.ru)

Сокерин Михаил Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия; [sokerin@geo.komisc.ru](mailto:sokerin@geo.komisc.ru)

### Information about the authors

Andrey A. Parkhachev – Graduate Student, Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS; Leading Geologist, Karpinsky Russian Geological Research Institute (Syktyvkar sector), Syktyvkar, Russia; [Andrey\\_Parkhachev@karpinskyinstitute.ru](mailto:Andrey_Parkhachev@karpinskyinstitute.ru)

Yuri V. Glukhov – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Researcher, Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia; [Glukhov@geo.komisc.ru](mailto:Glukhov@geo.komisc.ru)

Ksenia G. Parkhacheva – Junior Researcher, Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia; [ksparhacheva@yandex.ru](mailto:ksparhacheva@yandex.ru)

Boris A. Makeev – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Researcher, Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia; [makboris@mail.ru](mailto:makboris@mail.ru)

Mikhail Y. Sokerin – Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Researcher, Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia; [sokerin@geo.komisc.ru](mailto:sokerin@geo.komisc.ru)