

## Оценка возраста и потенциальной алмазоносности коренных источников по их глубинным минералам из ореолов рассеяния

Для Анабаро-Уджинского междуречья, участков Тарыдак и Мирюга, Келимьярской площади и Чомполинского поля оценён возраст коренных источников глубинных минералов из ореолов рассеяния на основе разработанных нами минералогических критериев. Сделаны выводы о перспективах алмазоносности коренных источников, прогнозируемых в пределах данных площадей.

*Ключевые слова:* кимберлит, среднепалеозойский кимберлитовый магматизм, индикаторные минералы кимберлита, пироп, пикроильменит.

БАРАБАШ ЕКАТЕРИНА ОЛЕГОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник<sup>1</sup>, egorovaeo@igm.nsc.ru, hyperborean@bk.ru

АФАНАСЬЕВ ВАЛЕНТИН ПЕТРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник<sup>1</sup>, avr-diamond@mail.ru

ПОХИЛЕНКО НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ, академик РАН, главный научный сотрудник<sup>1,2</sup>, chief@igm.nsc.ru

МАЛЫГИНА ЕЛЕНА ВЕНИАМИНОВНА, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник<sup>1</sup>, malygina@igm.nsc.ru

ИВАНОВА ОКСАНА АЛЕКСАНДРОВНА, младший научный сотрудник<sup>1</sup>, ivanova@igm.nsc.ru

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ФГБУН ИГМ СО РАН), г. Новосибирск

<sup>2</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ)

## The age and potential of primary diamond deposits: estimation from mantle-derived placer minerals

E. O. BARABASH<sup>1</sup>, V. P. AFANASIEV<sup>1</sup>, N. P. POKHILENKO<sup>1,2</sup>, E. V. MALYGINA<sup>1</sup>, O. A. IVANOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

The ages of primary diamond deposits in the Anabar-Udzha interfluvium, Tarydak and Miryuga sites, Kelimyar area, and Chompolo field have been estimated using mineralogical criteria from data on mantle-derived minerals found in the related placers. The new data have implications for the diamond potential of primary deposits in the sampled areas.

*Key words:* kimberlite, Middle Paleozoic kimberlite magmatism, kimberlite indicator minerals, pyrope, picroilmenite.

**Введение.** На Сибирской платформе известны три эпохи кимберлитового магматизма – среднепалеозойская, нижнетриасовая и юрско-меловая. Кимберлиты с промышленными содержаниями алмазов в пределах Сибирской платформы связаны только со среднепалеозойской эпохой, хотя в ряде кимберлитовых полей этого возраста резко преобладают тела с низкими и убогими содержаниями

алмазов. Уровень алмазоносности триасовой эпохи значительно ниже, чем среднепалеозойской, а в большинстве известных триасовых кимберлитов алмазы вообще не установлены. Известные юрско-меловые кимберлиты не содержат алмазов, исключение составляет лишь кимберлитовая трубка Дьянга, содержащая незначительные концентрации алмазов.

Поскольку для Сибирской платформы наблюдается зависимость продуктивности кимберлитовых тел от возраста их формирования, то оценка возраста коренных источников по ИМК из ореолов рассеяния имеет большое значение при оценке перспективности изучаемой площади. Поэтому с использованием комплекса критериев оценки возраста коренных источников по индикаторным минералам кимберлитов (ИМК) из ореолов рассеяния [10] обоснован возраст коренных источников для ряда потенциально алмазосных районов Сибирской платформы.

**Район работ и материал для исследования.** Материалом для исследования послужили шлиховые пробы из следующих районов Сибирской платформы: Анабаро-Уджинское междуречье (бассейны рек Биллях, Уджа, Маят), участки Тарыдак и Мирюга (бассейн реки Подкаменная Тунгуска), Чомполинское лампрофировое поле, северная часть Оленёкского поднятия (бассейны рек Никабыт, Хорбусуонка, Келимяр).

**Методы исследования.** С помощью бинокулярного микроскопа (Микромед МС-3-Zoom) изучен габитус кристаллов, степень механического износа, наличие гипергенных изменений и хронологические взаимоотношения разного рода скульптур. Сканирующая электронная микроскопия (JEOL 6380 LA, TESCAN MIRA 3 LMU) применялась с целью изучения микрорельефа наиболее информативных зёрен ИМК и документации представительных выборок гранатов из различных районов.

Химический состав гранатов определялся методом рентгеноспектрального микроанализа с электронным зондом на микроанализаторе JEOL JXA 8100 в аналитическом центре ИГМ СО РАН. Анализ проводился при ускоряющем напряжении 20 кВ и токе пучка 40–70 нА, диаметр пучка электронного зонда составлял 2 мкм, время отсчёта 20 сек для пиков и 10 сек для фона. Для силикатов проводился стандартный 10-элементный анализ на элементы с пересчётом на оксиды:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ . Пределы обнаружения для  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$  составляли 0,03–0,04 мас.%, а для  $\text{FeO}$ ,  $\text{MnO}$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 0,05–0,07 мас.%. Точность анализа 2 отн.%. Подробнее метод описан в работе [13].

**Результаты исследования.** Анабаро-Уджинское междуречье (северо-восток Сибирской платформы). Индикаторные минералы изученной площади представлены пиропом и пикроильменитом. Хромиты, найденные в небольшом количестве, относятся к так называемому «курунгскому» типу, то есть происходят не из кимберлитов, а из неизвестных пород ультраосновного состава; такие хромиты распространены по всей Сибирской платформе [8].

Большинство зёрен пиропов имеет признаки гипергенной коррозии. Степень гипергенной коррозии варьирует от слабой, видимой только на сканирующем микроскопе, до высокой, с формированием выпуклогранных кубоидов, которые являются устойчивыми формами растворения гранатов в процессах выветривания [5, 6, 15].

В бассейнах рек Маят и Уджа преобладает слабая или средняя степень гипергенной коррозии пиропов (рис. 1, Б), а в бассейнах рек Биллях и Эбелях – высокая, практически все пиропы представлены хорошо развитыми кубоидами (см. рис. 1, В, Г).

Степень докоррозионного механического износа пиропов так же, как и степень гипергенеза, различается в зависимости от района. Для пиропов из бассейнов рек Маят и Уджа степень механического износа варьирует от слабой (см. рис. 1, Д) до предельной (см. рис. 1, А, Б), в подавляющем большинстве случаев преобладает слабая степень докоррозионного износа, а для пиропов из бассейнов рек Биллях и Эбелях – высокая, что подтверждается наличием большого количества кубоидов, которые более охотно развиваются по сильно окатанным зёрнам (см. рис. 1, В, Г).

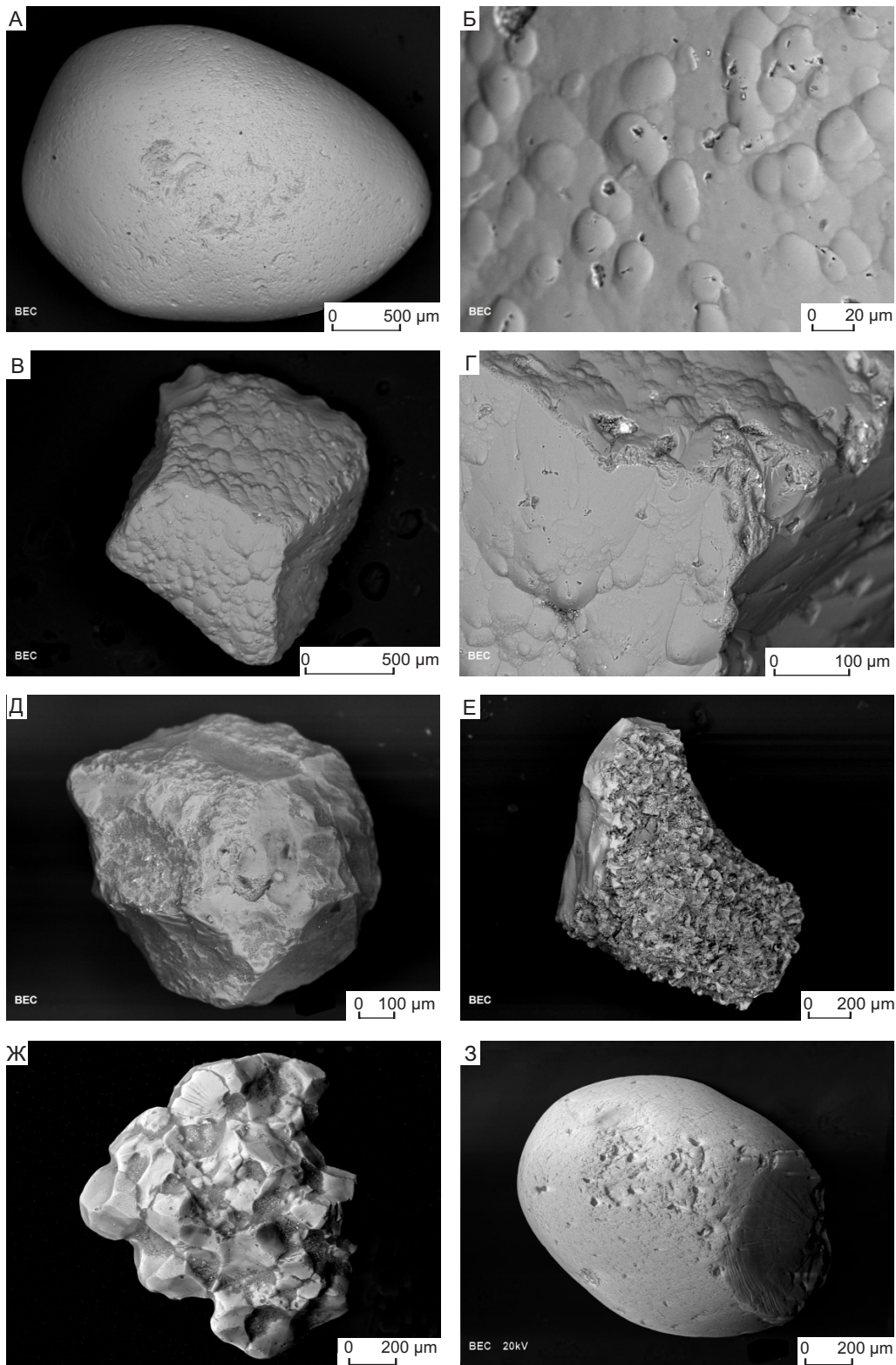
На пироплах Анабаро-Уджинской площади часто встречается механогенная полировка, развитая по коррозионной поверхности (см. рис. 1, Б), но присутствуют и шероховатые поверхности при общей слабой степени износа.

Степень механического износа пикроильменита в бассейне реки Уджа варьирует от визуально нефиксируемой (см. рис. 1, Е) до предельной с формированием псевдогексагональных пластинок (см. рис. 1, З). На слабоокатанных зёрнах широко развит микропирамидальный рельеф, изредка встречаются зёрна пикроильменита агрегатного строения (см. рис. 1, Ж).

Распределение химических составов пиропов из всех районов Анабаро-Уджинского междуречья соответствует среднепалеозойским источникам. В небольшом количестве присутствуют гранаты алмазной ассоциации (рис. 2).

*Участки Тарыдак и Мирюга (бассейн р. Подкаменная Тунгуска).* К северу от Чадобецкого поднятия в районе рек Тарыдак и Мирюга известен среднекарбонный континентальный коллектор индикаторных минералов, содержащий сильноокатанные пиропы и алмазы с признаками износа. Пикроильменит в ассоциации отсутствует.

По механогенным поверхностям пиропов практически на всех зёрнах, развит каплевидный рельеф (рис. 3, А), часто полностью уничтожающий следы докорового износа. В долине р. Мирюга для большинства пиропов характерен хорошо развитый пирамидально-черепитчатый рельеф (см. рис. 3, Б).



**Рис. 1. Морфологические особенности ИМК Анабаро-Уджинского междуречья:**

А – предельная степень докорового механического износа (р. Уджа); Б – слабая степень гипергенной коррозии (детали рельефа зерна «А»); В, Г – кубоид пироба (р. Биллях); Д – пироб со слабой степенью механического износа (р. Маят); Е – пикроильменит со слабым механическим износом (р. Булгунахта); Ж – зерно пикроильменита агрегатного строения (р. Чымара); З – предельная степень механического износа пикроильменита (р. Уджа)

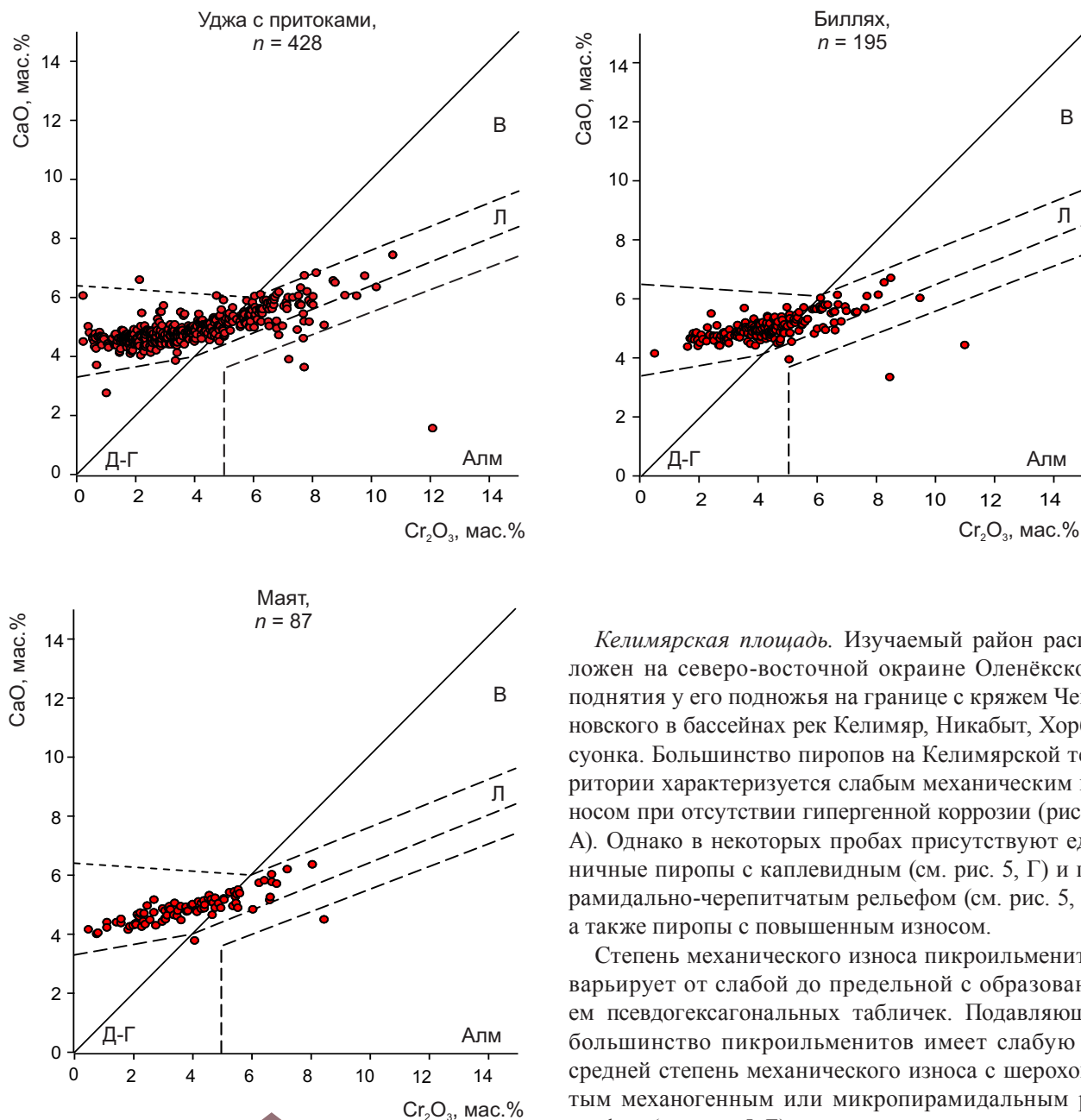


Рис. 2. Диаграммы составов гранатов бассейнов рек Уджа, Биллях, Маят. Поля, по [20]:

В – верлитовый парагенезис, Л – лерцолитовый парагенезис, Д-Г – дунит-гарцбургитовый парагенезис, Алм – гранаты алмазной ассоциации

По химическому составу пиропы с Тарыдакского и Мирюгинского участков показывают типичное среднепалеозойское распределение составов в координатах CaO–Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, в ассоциации устойчиво присутствуют пиропы алмазной ассоциации (рис. 4) [20].

*Келимьярская площадь.* Изучаемый район расположен на северо-восточной окраине Оленёкского поднятия у его подножья на границе с кряжем Чекановского в бассейнах рек Келимьяр, Никабыт, Хорбусуонка. Большинство пиропов на Келимьярской территории характеризуется слабым механическим износом при отсутствии гипергенной коррозии (рис. 5, А). Однако в некоторых пробах присутствуют единичные пиропы с каплевидным (см. рис. 5, Г) и пирамидально-черепитчатым рельефом (см. рис. 5, В), а также пиропы с повышенным износом.

Степень механического износа пикроильменитов варьирует от слабой до предельной с образованием псевдогексагональных табличек. Подавляющее большинство пикроильменитов имеет слабую до средней степень механического износа с шероховатым механогенным или микропирамидальным рельефом (см. рис. 5, Б).

Необходимо отметить, что внутри изучаемой территории наблюдается некоторая дифференциация по морфологии индикаторных минералов. В бассейнах рек Хорбусуонка и Никабыт индикаторные минералы менее окатаны, практически отсутствуют зёрна с гипергенной коррозией, пирамидально-черепитчатым рельефом и сильным механическим износом. В бассейне реки Келимьяр чаще встречаются пиропы с каплевидным и пирамидально-черепитчатым рельефом, а также сильноокатанные зёрна.

Все обнаруженные хромиты по морфологии соответствуют «курунгскому» типу и относятся к «ложным» индикаторам кимберлитов. Их источником на Келимьярской площади являются трубки взрыва

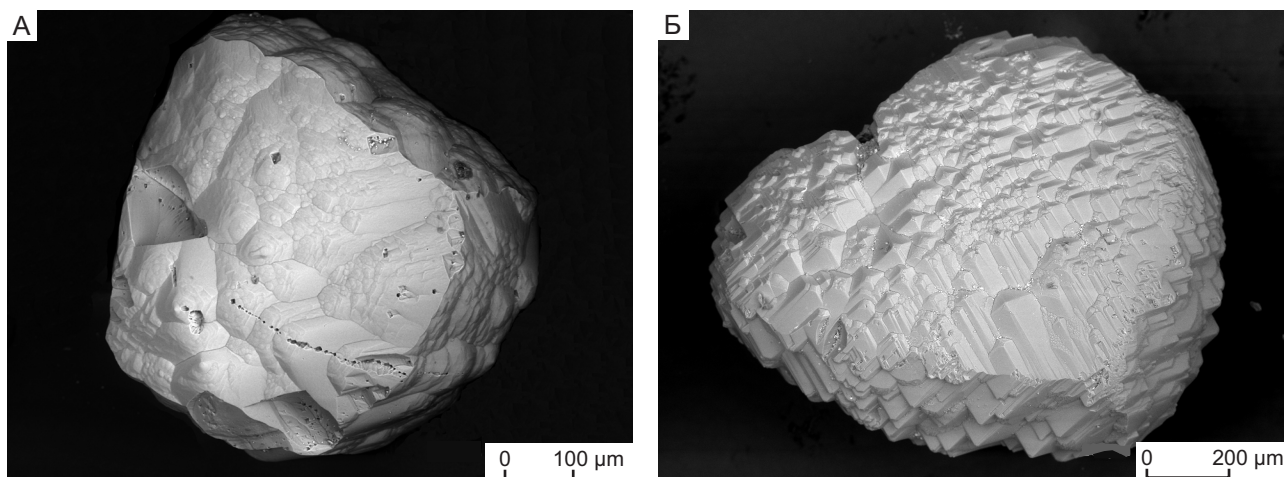


Рис. 3. Морфологические особенности пиропов участков Тарыдак и Мирюга:

А – кубоид пиропы, уч. Тарыдак; Б – пирамидально-черепитчатый рельеф на пиропе уч. Мирюга

калиевых щелочных вулканитов на апикальной части Оленёкского поднятия. Об этом свидетельствует полная аналогия составов хромитов Келимьярской площади и хромитов из этих трубок [17].

Распределение составов пиропов на диаграмме Н. В. Соболева [20] указывает на среднепалеозойский или триасовый возраст их источников (рис. 6).

В некоторых пробах в незначительных количествах присутствуют гранаты алмазной ассоциации.

*Чомполинское поле.* Чомполинское поле расположено в юго-восточной части Сибирской платформы, в верховьях реки Амга. Трубки взрыва и дайки на данной территории представлены лампрофирами [12, 19]. На большей части его территории на дневной

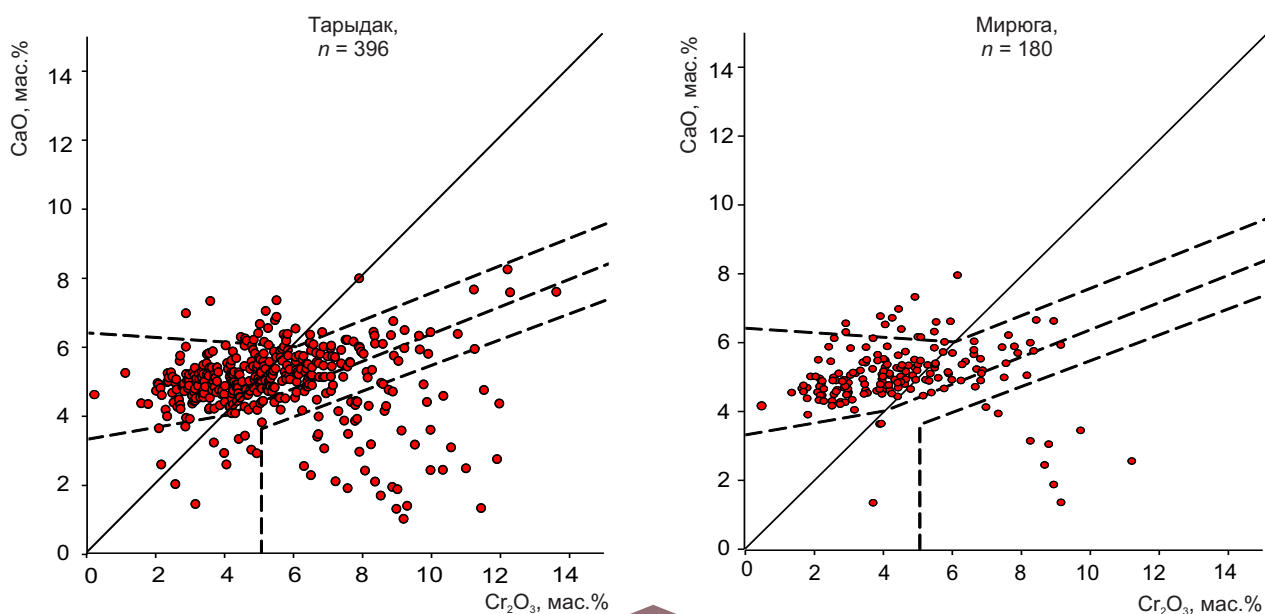


Рис. 4. Диаграммы составов гранатов участков Тарыдак и Мирюга. Поля, по [20]:

см. пояснения к рис. 2

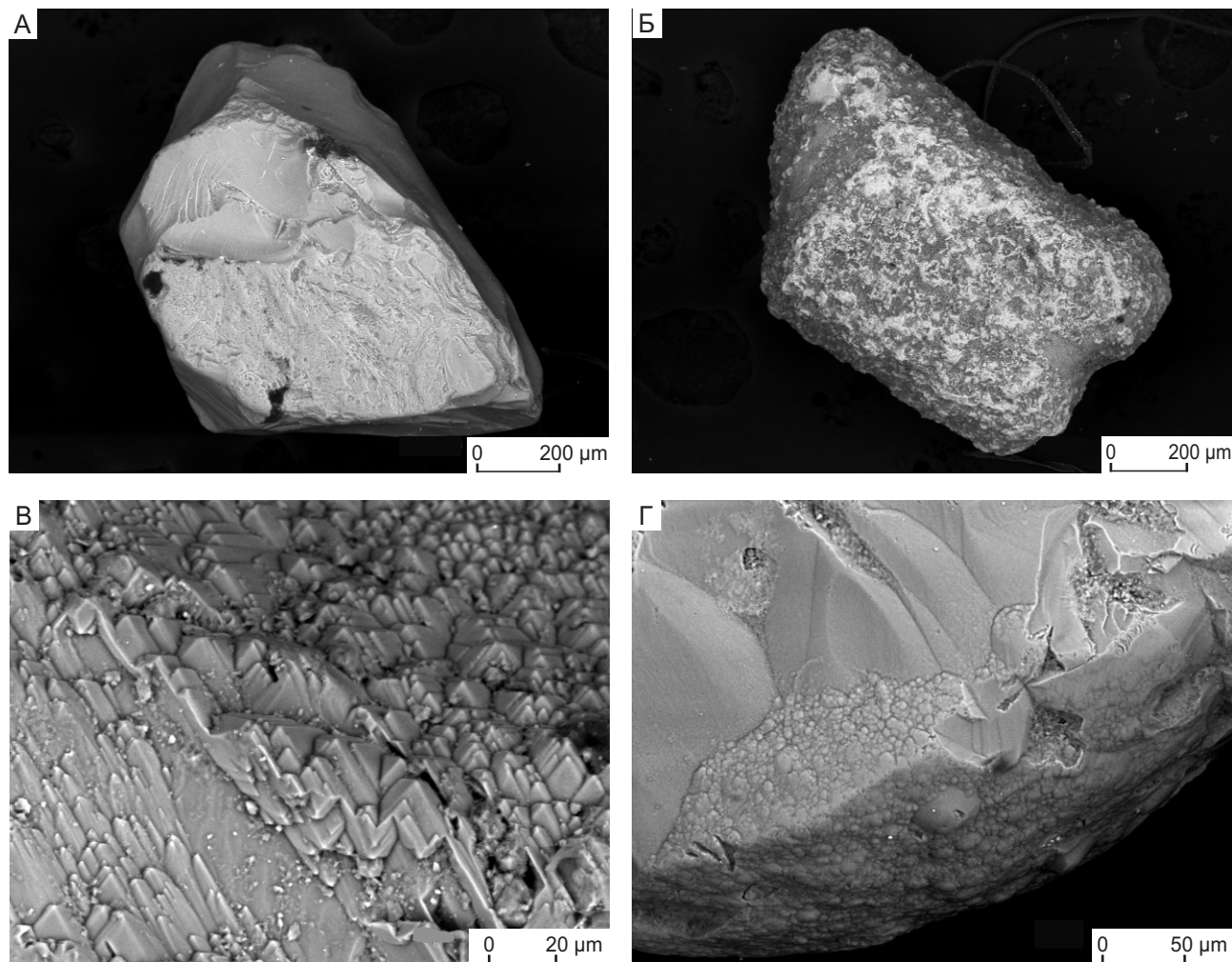


Рис. 5. Морфологические особенности пиропов и пикроильменитов Келимярской площади:

А – пироп с первичной морфологией; Б – пикроильменит со слабым механическим износом и микропирамидальным рельефом; В – пироп с пирамидально-черепитчатым рельефом; Г – пироп с каплевидным рельефом

поверхности обнажены породы кембрия–протерозоя, которые являются лампрофировмещающими, на водоразделах встречаются реликты нижнеюрских отложений, содержащие индикаторные минералы.

Индикаторные минералы Чомполинского поля представлены преимущественно пиропом и пикроильменитом, в меньших количествах присутствуют хромит и хромдиопсид.

Степень механического износа пиропов слабая, и лишь единичные зёрна могут быть отнесены к средней степени износа. Как правило, для пиропов характерен «первичный» рельеф, сформированный в коренном источнике (рис. 7, А). Реже встречается развитый в разной степени пирамидально-черепитчатый рельеф (см. рис. 7, Г).

Изредка на зёрнах пиропов развит полирующий тип механического износа. На нескольких зёрнах гранатов наблюдается каплевидный (см. рис. 7, В) рельеф гипергенного растворения.

Для пикроильменита характерно наличие микропирамидального рельефа хорошей сохранности (см. рис. 7, Б), что указывает на слабый механический износ. В редких случаях встречаются среднеокатанные зёрна.

Хромиты из трубок взрыва Чомполинского поля представлены двумя морфологическими типами. Для первого типа характерны хорошо оформленные осторёберные октаэдр, а для второго – октаэдр с вициналями, мириоздрические кристаллы. В аллювии они, как правило, не имеют признаков износа.

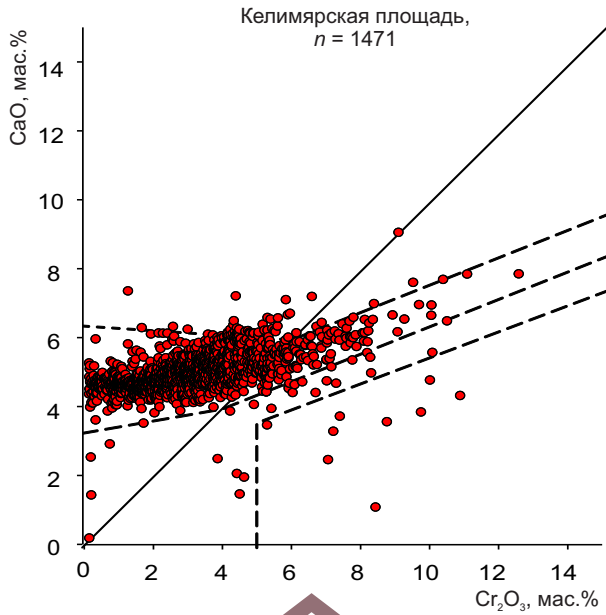


Рис. 6. Диаграммы составов гранатов Келимьярской площади. Поля, по [20]:

см. пояснения к рис. 2

Распределение составов гранатов из всех проб Чомполинского поля соответствует мезозойским источниками и показывает отсутствие субкальциевых высокохромистых пиропов дунит-гарцбургитового парагенезиса, характерных для алмазонасных кимберлитов (рис. 8) [20].

**Обсуждение результатов исследования.** Критерии оценки возраста коренных источников по ИМК из ореолов рассеяния. Морфологические особенности ИМК и химический состав гранатов позволяют дать оценку возраста коренных источников по индикаторным минералам из ореолов рассеяния на основании описанных ниже критериев [10].

В качестве первого критерия используется химический состав гранатов. Химический состав гранатов из среднепалеозойских кимберлитов отражает максимальное разнообразие парагенезисов гранатов в кимберлитах [20] (см. рис. 3, А). Основная масса гранатов принадлежит лерцолитовым парагенезисам, в значительном количестве представлены дунит-гарцбургитовые и верлитовые гранаты. Присутствуют гранаты алмазной ассоциации, куда попадают

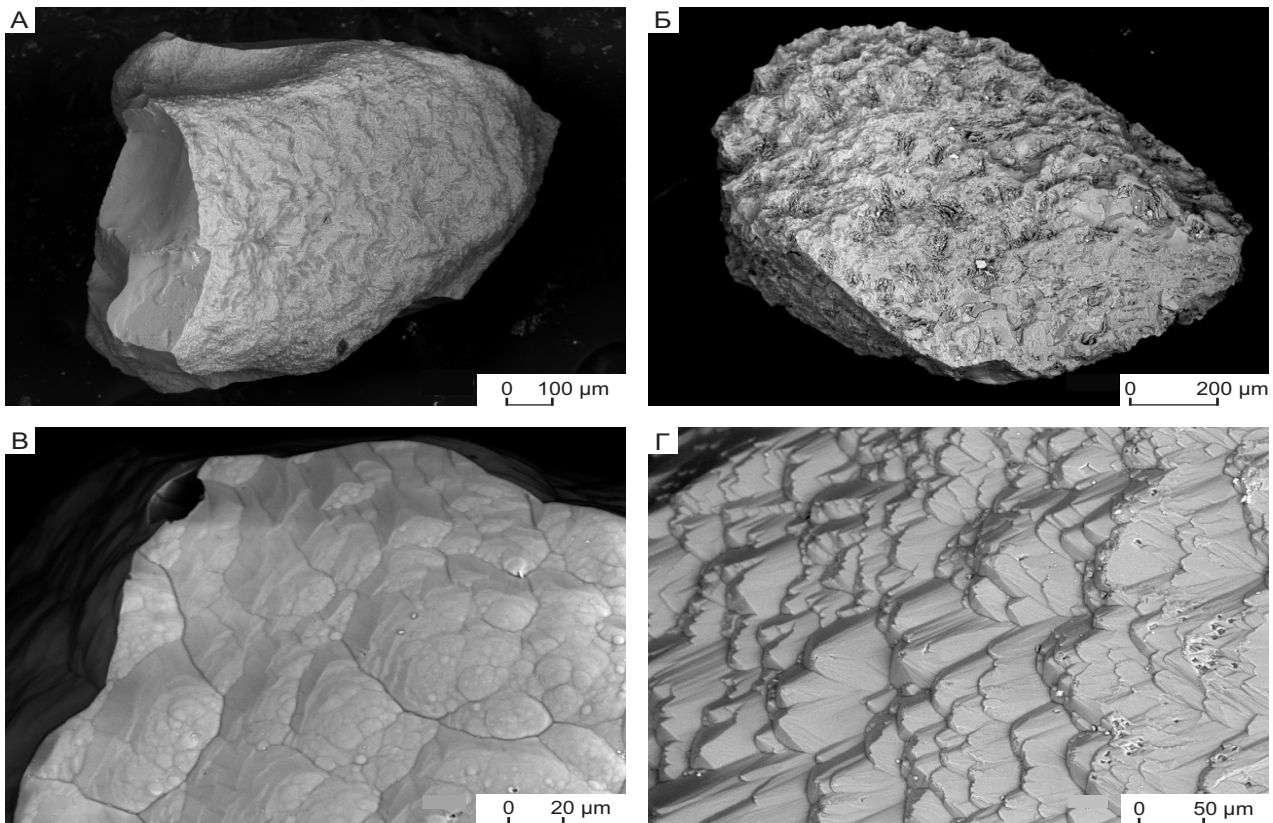


Рис. 7. Морфологические особенности пиропов и пикроильменитов Чомполинского поля:

А – пироп со слабым механическим износом; Б – пикроильменит со слабым механическим износом; В – фрагмент зерна пироба с каплевидным рельефом; Г – фрагмент зерна пироба с пирамидально-черепитчатым рельефом

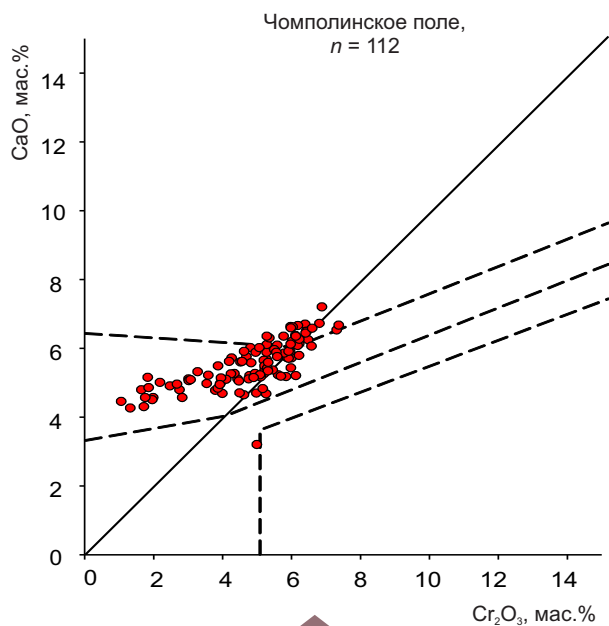


Рис. 8. Диаграммы составов гранатов Чомполинского поля. Поля, по [20]:

см. пояснения к рис. 2

высокохромистые субкальциевые гранаты, по составу соответствующие большей части включений в алмазах ультраосновных парагенезисов.

Триасовые кимберлиты в значительной мере наследуют распределение составов гранатов, характерное для среднепалеозойских кимберлитов. Однако в популяциях гранатов из триасовых кимберлитов значительно снижены доли гранатов гарцбургит-дунитового и верлитового парагенезисов, а также гранатов с наиболее высокими содержаниями хрома ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 > 10$  мас.%); гранаты алмазной ассоциации представлены в незначительных количествах или отсутствуют (см. рис. 3, Б). Тем не менее только по составу разделить пиропы из кимберлитов среднепалеозойского и триасового возраста в случае их смешивания в ореолах достаточно сложно.

Среди гранатов из юрско-меловых кимберлитов резко снижаются содержания верлитового и гарцбургит-дунитового парагенезисов, гранаты из этих трубок главным образом малохромистые ( $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 8$  мас.%) и относятся к так называемым лерцолитам аномального состава [14]; гранаты алмажной ассоциации практически не встречаются (рис. 9).

Следующие критерии связаны с морфологическими особенностями ИМК. Для минералов из среднепалеозойских кимберлитов в большинстве случаев характерна средняя и сильная степень механического износа. Это связано с тем, что после формиро-

вания кимберлитовых тел и начального этапа их эрозии в позднем девоне (начало фамена) территория Сибирской платформы испытала мощную трансгрессию, которая обусловила сильное окатывание индикаторных минералов и оставила после себя абразионный пенеплен [3]. В последующие эпохи наступление моря на выровненную сушу имело уже характер не трансгрессии, а ингрессии, то есть подтопления суши. В условиях ингрессии существенный износ минералов не мог осуществиться, поэтому для ИМК из россыпей, сформированных за счёт триасовых и юрско-меловых кимберлитов, характерен только слабый износ и механогенная полировка твёрдых минералов, в первую очередь пироба.

Следующий критерий связан с физико-химическими изменениями минералов. В конце фамена-начале раннего карбона Сибирская платформа находилась в районе экватора [18]. Это способствовало тому, что в условиях влажного тропического климата на выровненной после трансгрессии поверхности была сформирована кора выветривания, в которой индикаторные минералы, прежде всего пироп, приобрели признаки гипергенных изменений. Наиболее характерным типом гипергенных изменений на пиробах является каплевидный рельеф [5, 15]. В геологической истории фанерозоя только в среднепалеозойской коре выветривания зафиксировано гипергенное растворение ИМК [16]. Поэтому наличие каплевидного рельефа, а также каналов травления по дислокациям в структуре пиробов однозначно указывают на среднепалеозойский этап гипергенеза и, соответственно, среднепалеозойский возраст коренных источников корродированных пиробов.

Указанные критерии по отдельности могут быть по-разному проявлены на индикаторных минералах, поэтому только их применение в комплексе позволяет диагностировать принадлежность коренных источников к определённой эпохе кимберлитового магматизма с высокой надёжностью.

*Анабаро-Удженская площадь.* Для пиробов и пикроильменитов Анабаро-Удженской площади характерны широкие вариации по степени механического износа и гипергенной коррозии. При этом наблюдается дифференциация района по степени механического износа и гипергенной коррозии ИМК.

В бассейнах рек Удья и Маят подавляющее большинство пиробов и пикроильменитов характеризуется слабым механическим износом и едва заметным каплевидным рельефом, в то время как в бассейнах рек Билях и Эбелях пироба сильно окатаны, в большом количестве присутствуют кубоиды. Вероятно, это объясняется тем, что от р. Маят на север территория была несколько более возвышенная, поэтому в бассейне рек Маят и Удья индикаторные минералы

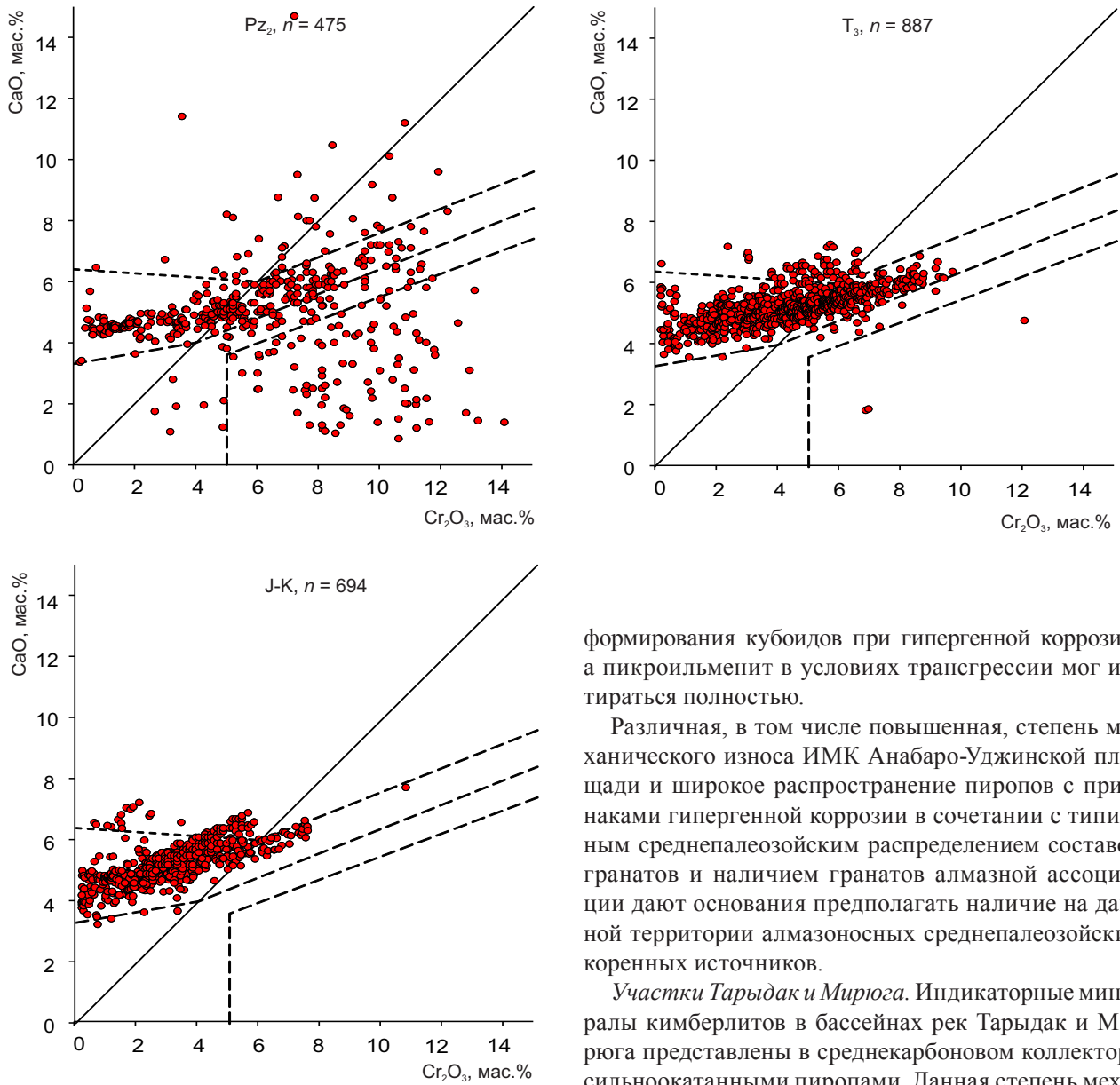


Рис. 9. Диаграммы составов гранатов из разновозрастных кимберлитов. Поля, по [20]:

$Pz_2$  – трубки Удачная, Айхал, Зимняя (средний палеозой);  $T_3$  – трубки Эвенкийская, Университетская, Малокуонапская (триас), J-K – трубки Обнаженная, Второгодница, Оливиновая, Ирина (юра–мел); см. пояснения к рис. 2

в процессе позднефаменской трансгрессии, охватившей всю Сибирскую платформу, окатаны относительно слабо и, как следствие, менее корродированы, тогда как на р. Биллях и южнее, вплоть до р. Эбелях, индикаторные минералы окатаны значительно сильнее, пиропы были закатаны до шариков, что послужило впоследствии благоприятной основой для

формирования кубоидов при гипергенной коррозии, а пикроильменит в условиях трансгрессии мог истираться полностью.

Различная, в том числе повышенная, степень механического износа ИМК Анабаро-Уджинской площади и широкое распространение пиропов с признаками гипергенной коррозии в сочетании с типичным среднепалеозойским распределением составов гранатов и наличием гранатов алмазной ассоциации дают основания предполагать наличие на данной территории алмазосных среднепалеозойских коренных источников.

*Участки Тарыдак и Мирюга.* Индикаторные минералы кимберлитов в бассейнах рек Тарыдак и Мирюга представлены в среднекарбонном коллекторе сильноокатанными пиропами. Данная степень механического износа достижима только в прибрежно-морских трансгрессивных обстановках [4]. Это объясняет отсутствие в ассоциации пикроильменита, который в силу меньшей абразивной устойчивости полностью уничтожается в условиях трансгрессии. Следовательно, в континентальных среднекарбонных отложениях ореол находится в переотложенном состоянии.

Глубокое растворение пиропов с образованием кубоидов указывает на то, что после формирования прибрежно-морского коллектора, пиропы находились в условиях среднепалеозойской коры выветривания [5, 6, 15], которая на данной территории, как и на всей Сибирской платформе, была развита в позднем девоне [11, 16]. На большинстве зёрен пиропов из Мирюгинского коллектора развит ярко выраженный пирамидально-черепитчатый рельеф,

формирование которого связано с тем, что после этапа гипергенеза в среднепалеозойской коре выветривания они испытали на себе воздействие пермотриасовых дифференцированных траппов [1].

Таким образом, высокая степень механического износа, наличие коррозионного рельефа и среднепалеозойское распределение составов гранатов с наличием гранатов алмазной ассоциации указывают на наличие в районе Тарыдакского и Мирюгинского участков алмазоносных кимберлитовых тел среднепалеозойского возраста. Однако поисковая обстановка на данной территории осложняется тем, что коллектор, содержащий ИМК, а следовательно, и кимберлитовые тела погребены под более поздними осадками.

*Келимярская площадь.* Для пиропов характерен слабый износ, для пикроильменитов – слабый до среднего. Механогенные поверхности в обоих случаях имеют большие радиусы закругления, что характерно для однородной в гранулометрическом плане абразивной среды. Такая форма износа характерна для достаточно вялого гидродинамического режима мелководного моря. Эти условия были широко распространены в мезозойское время на территории всей Сибирской платформы при ингрессивном наступлении моря на пенепленизированную после девонской трансгрессии сушу [2].

ИМК с высокой степенью механического износа и пиропы со следами гипергенной коррозии, присутствующие в незначительных количествах, указывают на подпитку ореолов минералами из среднепалеозойского коллектора. Однако на исследуемой территории рэтский коллектор ( $T_3$ ), содержащий комплекс ИМК, повсюду залегает на неразмытой перми, соответственно, пермские отложения не могли подпитывать рэтские ореолы корродированными минералами. К тому же в ходе полевых работ было проведено шлиховое опробование базального горизонта перми, которое показало отсутствие в ней индикаторных минералов кимберлитов. Следовательно, рэтский коллектор содержит только индикаторные минералы мезозойских кимберлитов.

Присутствие небольшого количества ИМК, характерных для среднепалеозойских источников, вероятно, связано с привносом материала ледником из-за границ рассматриваемого района. Это предположение подтверждается обнаружением эскеров субширотного направления на водоразделах ручьёв Эмяхсин-Юряге и Толуюпка-Юряге.

Помимо пиропов со следами гипергенной коррозии, в пробах присутствуют единичные зёрна с типичным пирамидально-черепитчатым рельефом. Формирование пирамидально-черепитчатого рельефа связано с метагенезом при формировании склад-

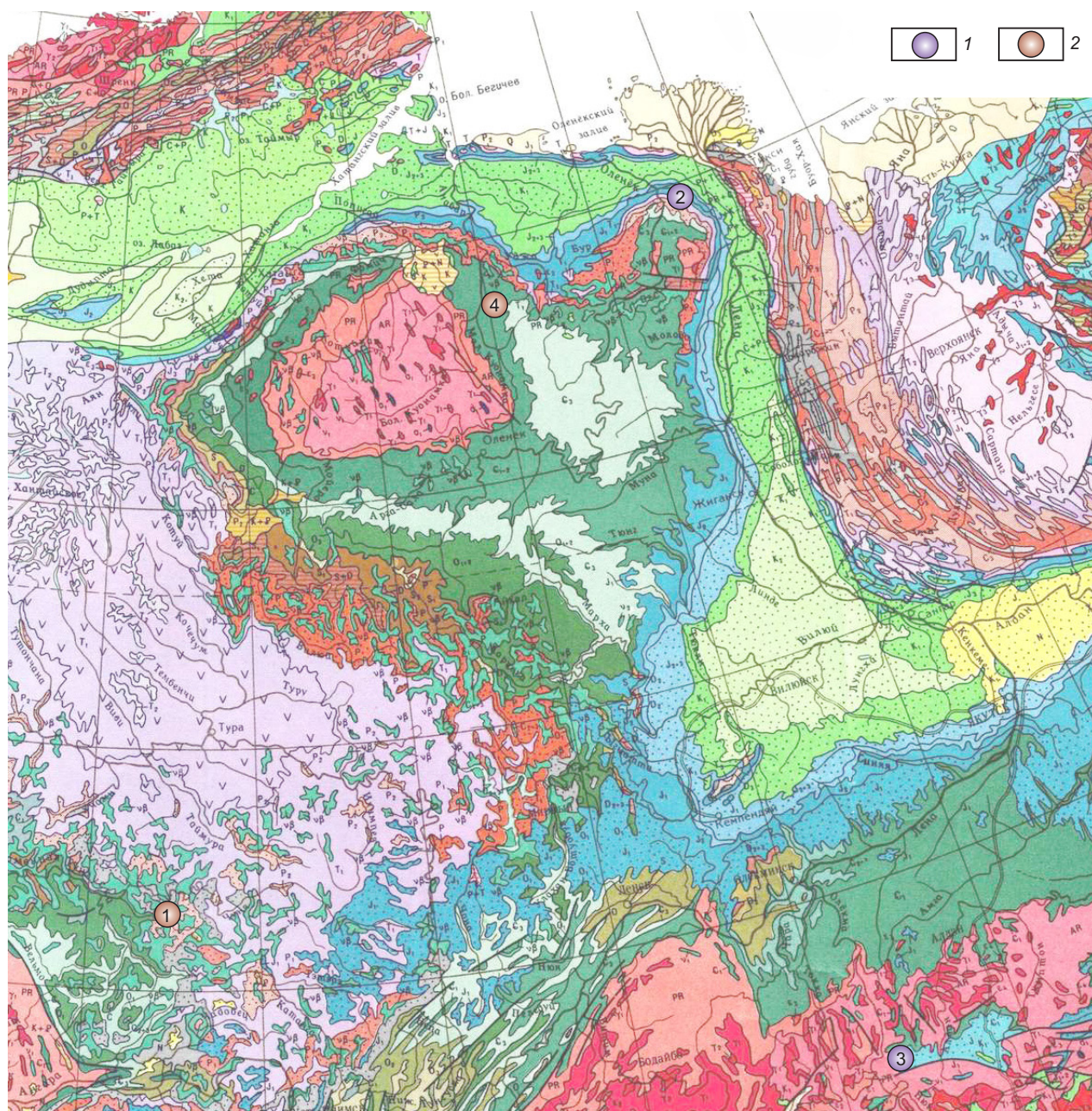
чатости либо с метасоматозом при внедрении дифференцированных траппов [1]. Однако для изучаемой территории ни те, ни другие условия нехарактерны. Наиболее вероятно, что эти зёрна также были принесены ледником из-за пределов Келимярской территории.

Необходимо отметить, что внутри изучаемой территории наблюдается некоторая дифференциация по минералогии индикаторных минералов. В бассейнах рек Хорбусуонка и Никабыт индикаторные минералы менее окатаны, практически отсутствуют «экзотические» зёрна с гипергенной коррозией, пирамидально-черепитчатым рельефом и сильным механическим износом. В бассейне р. Келимяр значительно чаще встречаются пиропы с каплевидным и пирамидально-черепитчатым рельефом, а также сильноокатанные зёрна, соответствующие трансгрессивным прибрежно-морским обстановкам. Вероятно, это объясняется тем, что индикаторные минералы в бассейнах рек Хорбусуонка и Никабыт питаются преимущественно за счёт местных источников, в то время как в бассейне Келимяра велика вероятность привноса ледником материала с западных румбов.

На основании морфологии и состава индикаторных минералов наиболее вероятно, что на Келимярской площади распространены кимберлиты триасового возраста. Слабый механический износ и отсутствие гипергенной коррозии характерны как для триасовых, так и для юрско-меловых кимберлитов. Однако распределение составов пиропов на диаграмме Н. В. Соболева [20] несвойственно юрско-меловым кимберлитам и указывает на среднепалеозойский или триасовый возраст их источников. В некоторых пробах в небольших количествах присутствуют гранаты алмазной ассоциации, что даёт основания предполагать алмазоносность коренных источников, расположенных на данной территории.

Незначительное количество индикаторных минералов со следами гипергенной коррозии и сильным износом, характерных для среднепалеозойских кимберлитов, а также с пирамидально-черепитчатым рельефом наиболее вероятно принесено ледником из-за пределов Келимярской площади.

*Чомполинское поле.* Среди изученных индикаторных минералов из лампрофировых тел и аллювиальных шлиховых ореолов Чомполинского поля подавляющее большинство имеет типичные признаки «первичного» рельефа, то есть сформированного в трубке взрыва. Вместе с тем некоторые зёрна обнаруживают признаки механического износа, указывающего на поступление данных зёрен из промежуточного нижнеюрского коллектора. Характерен полирующий тип механического износа, который



**Рис. 10. Предполагаемый возраст коренных источников глубинных минералов в изученных районах:**

1 – участки Тарыдак и Мирюга, 2 – Келимярская площадь, 3 – Чомполинское поле; 4 – Анабаро-Уджинское междуречье; предполагаемый возраст коренных источников: 1 – триас, 2 – средний палеозой

свойственен в целом минералам из нижнеюрских отложений региона.

Реже встречается развитый в разной степени пирамидально-черепитчатый рельеф, который на данной территории связан с периодом позднеюрской–меловой магматической активизации при образовании Ямалахского горста [7].

На нескольких зёрнах гранатов наблюдается каплевидный рельеф гипергенного растворения. Поскольку на Сибирской платформе гипергенез индикаторных минералов достоверно связан только со среднепалеозойской корой выветривания ( $D_3-C_1$ ), есть вероятность, что кубоидный рельеф на гранатах Чомполинского поля является формой развития

пирамидально-черепитчатого рельефа, связанного с постмагматической проработкой лампрофировых тел при формировании сиенитовых массивов. Сходная ситуация наблюдается в Хатыстырском поле лампроитов, расположенном юго-восточнее Чомполинского поля. Трубки Хатыстырского поля имеют юрско-меловой возраст. Однако в трубке Нэт присутствуют гранаты со следами гипергенного растворения по кубоидному типу. Наиболее вероятно, что их появление связано с мощнейшей постмагматической карбонатизацией [9]. Пока в этом вопросе нет ясности. Необходимы новые данные.

Распределение составов гранатов из всех проб Чомполинского поля соответствует мезозойским источникам и показывает отсутствие субкальциевых высокохромистых пиропов дунит-гарцбургитового парагенезиса, характерных для алмазоносных кимберлитов [20].

Комплекс минералогических критериев оценки возраста коренных источников индикаторных минералов показывает, что основное количество лампрофировых минералов происходит из неалмазоносных мезозойских источников, о чём свидетельствуют преимущественно слабый износ индикаторных минералов, отсутствие гипергенных изменений, типичное для мезозойских источников распределение составов пиропов с полным отсутствием высокохромистых субкальциевых гранатов алмазной ассоциа-

ции [20]. Дать однозначную оценку возраста лампрофиров Чомполинского поля пока сложно. Изотопные датировки  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом указывают на юрско-меловой возраст [19]. Однако по геологическим данным более вероятен триасовый возраст, поскольку трубка Перевальная частично перекрыта нижнеюрскими отложениями, к тому же сохранившиеся на данной территории нижнеюрские коллекторы содержат комплекс индикаторных минералов.

**Выводы.** Использование комплекса критериев оценки возраста по индикаторным минералам из ореолов позволило надёжно обосновать возраст коренных источников для ряда изученных площадей, тем самым выделив из них наиболее перспективные с кимберлитами среднепалеозойского возраста.

На основании проведённого исследования установлено, что на Анабаро-Уджинском междуречье, участках Тарыдак и Мирюга в бассейне р. Подкаменная Тунгуска представлены ИМК, типичные для среднепалеозойских коренных источников, а на Келимярской площади на севере Оленёкского поднятия и в Чомполинском поле – для триасовых. Наиболее перспективной на обнаружение среднепалеозойских алмазоносных кимберлитов является Анабаро-Уджинская площадь (рис. 10).

*Работа выполнена в рамках Госзадания ИГМ СО РАН.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П.* Генезис пирамидально-черепитчатого рельефа растворения на гранатах пиропальмандинового ряда // Записки Всесоюзного минералогического общества. – 1985. – Ч. 114, Вып. 1. – С. 73–80.
2. *Афанасьев В. П.* Типизация шлихо-минералогических поисковых обстановок Якутской алмазоносной провинции // Советская геология – 1989. – № 1. – С. 24–33.
3. *Афанасьев В. П., Агашев А. М., Похиленко Н. П.* Основные черты истории и условий формирования ореолов индикаторных минералов кимберлитов Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. – 2013. – Т. 55, № 4. – С. 295–304.
4. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н.* Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // Геология рудных месторождений. – 1999. – Т. 41, № 3. – С. 281–288.
5. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П.* Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. – Новосибирск : Издательство СО РАН, филиал «Гео», 2001. – 276 с.
6. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Похиленко Н. П.* Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск : Академическое издательство «Гео», 2010. – 650 с.
7. *Афанасьев В. П., Николенко Е. И., Лобов К. В., Зольников И. Д., Картозия А. А., Глушкова Н. В.* Геолого-геоморфологические особенности строения и история формирования Ямалахского горста (южная Якутия) // Отечественная геология. – 2020. – № 6. – С. 80–87
8. *Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Логвинова А. М., Зинчук Н. Н., Ефимова Э. С., Сафьянников В. И., Красавчиков В. О., Подгорных Н. М., Пругов В. П.* Особенности морфологии и состава некоторых хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 12. – С. 1729–1741.
9. *Богатиков О. А., Рябчиков И. Д., Кононова В. А., Махоткин И. Л.* Лампроиты: монография. – М. : Наука, 1991. – 301 с.
10. *Егорова Е. О., Афанасьев В. П., Похиленко Н. П.* О среднепалеозойском кимберлитовом магматизме северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 470, № 6. – С. 692–695.
11. *Зинчук Н. Н.* Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков и разработки алмазных

- месторождений) // Новосибирск : Издательство Новосибирского университета, 1994. – 240 с.
12. Корнилова В. П. Петрография и минералогия известково-щелочных лампрофиров и эруптивных брекчий бассейна р. Чомполо // Отечественная геология. – 1997. – № 9. – С. 6–9.
  13. Королюк В. Н., Лаврентьев Ю. Г., Усова Л. В., Нигматулина Е. Н. О точности электронно-зондового анализа породообразующих минералов на микроанализаторе JXA-8100 // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 3. – С. 221–225.
  14. Тычков Н. С., Похиленко Н. П., Кулигин С. С., Малыгина Е. В. Особенности состава и происхождение пиропов аномального состава из лерцолитов (свидетельства эволюции литосферной мантии Сибирской платформы) // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 4. – С. 302–318.
  15. Харьков А. Д., Волотовский А. Г. О природе скульптур на зернах пироба из осадочных пород // Минералогический сборник Львовского университета. Вып. 4. – 1968. – № 22. – С. 399–402.
  16. Шамина Э. А. Коры выветривания кимберлитовых пород Якутии. – Новосибирск : Наука. – 1979. – 151 с.
  17. Шпунт Б. Р., Шамина Э. А. Поздневендские калиевые щелочные вулканиты Оленекского поднятия (северо-восток Сибирской платформы) // Доклады Академии наук СССР. – 1989. – Т. 7, № 3. – С. 678–682.
  18. Cocks L. R. M., Torsvik T. H. Siberia, the wandering northern terrane, and its changing geography through the Palaeozoic // Earth-Science Reviews. – 2007. – V. 82. – P. 29–74.
  19. Nikolenko E. I., Lobov K. V., Agashev A. M., Sharygin I. S., Nikolenko A. M. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology and new mineralogical and geochemical data from lamprophyres of Chompolo field (South Yakutia, Russia) // Minerals. – 2020. – V. 10, № 10. – P. 886.
  20. Sobolev N. V., Lavrent'ev Yu. G., Pokhilenko N. P., Usova L. V. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1973. – V. 40. – P. 39–52.

## REFERENCES

1. Afanas'yev V. P. Genesis piramidal'no-cherepitchatogo rel'yefa rastvoreniya na granatakh pirop-al'mandinovogo ryada [Genesis of the pyramidal-tiled dissolution relief on pyrope-almandine garnets]. Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva [Notes of the All-Union Mineralogical Society]. 1985, Ch. 114, Is. 1, P. 73–80. (In Russ.)
2. Afanas'yev V. P. Tipizatsiya shlikho-mineralogicheskikh poiskovykh obstanovok Yakutskoy almazonosnoy provintsi [Typization of schlich-mineralogical prospecting environments of the Yakutsk diamondiferous province]. Sovetskaya geologiya [Soviet geology], 1989, № 1, P. 24–33. (In Russ.)
3. Afanas'yev V. P., Agashev A. M., Pokhilenko N. P. Osnovnyye cherty istorii i usloviy formirovaniya oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov Sibirskoy platformy [The main features of the history and conditions of formation of aureoles of indicator minerals in kimberlites of the Siberian Platform]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of ore deposits], 2013, V. 55, No. 4, P. 295–304. (In Russ.)
4. Afanas'yev V. P., Zinchuk N. N. Osnovnyye litodinamicheskiye tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov i obstanovki ikh formirovaniya [The main lithodynamic types of aureoles of indicator minerals of kimberlites and their formation environment]. Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of ore deposits], 1999, V. 41, No. 3, P. 281–288. (In Russ.)
5. Afanas'yev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. Morfologiya i morfogenez indikatornykh mineralov kimberlitov [Morphology and morphogenesis of kimberlite indicator minerals]. Novosibirsk, Geo publ., 2001, 276 p. (In Russ.)
6. Afanas'yev V. P., Zinchuk N. N., Pokhilenko N. P. Poiskovaya mineralogiya almaza [Prospecting diamond mineralogy]. Novosibirsk, Geo publ., 2010, 650 p. (In Russ.)
7. Afanas'yev V. P., Nikolenko Ye. I., Lobov K. V., Zol'nikov I. D., Kartoziya A. A., Glushkova N. V. Geologo-geomorfologicheskiye osobennosti stroyeniya i istoriya formirovaniya Yamalakhskogo gorsta (yuzhnaya Yakutiya) [Geological and geomorphological features of the structure and history of the formation of the Yamalakh horst (southern Yakutia)]. Otechestvennaya geologiya [Domestic geology], 2020, No. 6, P. 80–87. (In Russ.)
8. Afanas'yev V. P., Pokhilenko N. P., Logvinova A. M., Zinchuk N. N., Yefimova E. S., Saf'yannikov V. I., Kravchikov V. O., Podgornyykh N. M., Prugov V. P. Osobennosti morfologii i sostava nekotorykh khromshpinelidov almazonosnykh ploshchadey v svyazi s problemoy "lozhnykh" indikatorov kimberlitov [Peculiarities of morphology and composition of some chrome-spinels of diamond-bearing areas in connection with the problem of "false" indicators of kimberlites]. Geologiya i geofizika, 2000, V. 41, No. 12, P. 1729–1741. (In Russ.)
9. Bogatikov O. A., Ryabchikov I. D., Kononova V. A., Makhotkin I. L. Lamproity: monografiya [Lamproites: monograph]. Moscow, Nauka publ., 1991, 301 p. (In Russ.)
10. Yegorova Ye. O., Afanas'yev V. P., Pokhilenko N. P. O srednepaleozoyskom kimberlitovom magmatizme severo-vostoka Sibirskoy platformy [On the Middle Paleozoic kimberlite magmatism of the northeast of the Siberian Platform]. Doklady Akademii nauk, 2016, V. 470, No. 6, P. 692–695. (In Russ.)
11. Zinchuk N. N. Kory vyvetrivaniya i vtorichnyye izmeneniya kimberlitov Sibirskoy platformy (v svyazi s problemoy poiskov i razrabotki almaznykh mestorozhdeniy) [Weathering crusts and secondary changes in kimberlites of the Siberian platform (in connection with the problem of prospecting and development of diamond

- deposits)]. Novosibirsk, Novosibirsk University publ., 1994, 240 p. (In Russ.)
12. Kornilova V. P. Petrografiya i mineralogiya izvestkovykh lamprofirov i eruptivnykh brekchiy basseyna r. Chompolo [Petrography and mineralogy of calc-alkaline lamprophyres and eruptive breccias of the river Chompolo]. Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 1997, No. 9, P. 6–9. (In Russ.)
  13. Korolyuk V. N., Lavrent'yev Yu. G., Usova L. V., Nigmatulina Ye. N. O tochnosti elektronno-zondovogo analiza porodoobrazuyushchikh mineralov na mikroanalizatore JXA-8100 [On the accuracy of electron probe analysis of rock-forming minerals on a JXA-8100 micro-analyzer]. Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics], 2008, V. 49, No. 3, P. 221–225. (In Russ.)
  14. Tychkov N. S., Pokhilenko N. P., Kuligin S. S., Malygina Ye. V. Osobennosti sostava i proiskhozhdeniye piro-pov anomal'nogo sostava iz lertsolitov (svidetel'stva evolyutsii litosfernoy mantii Sibirskoy platformy) [Compositional features and origin of pyropes of anomalous composition from lherzolites (evidence of the evolution of the lithospheric mantle of the Siberian Platform)]. Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics], 2008, V. 49, No. 4, P. 302–318. (In Russ.)
  15. Khar'kiv A. D., Volotovskiy A. G. O prirode skul'ptur na zernakh piro-pa iz osadochnykh porod [On the nature of sculptures on pyrope grains from sedimentary rocks]. Mineralogicheskiy sbornik L'vovskogo universiteta, Is. 4, 1968, No. 22, P. 399–402. (In Russ.)
  16. Shamshina E. A. Kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Yakutii [Weathering crusts of kimberlite rocks of Yakutia]. Novosibirsk, Nauka publ., 1979, 151 p. (In Russ.)
  17. Shpunt B. R., Shamshina E. A. Pozdnevendskiye kaliyevyye shchelochnyye vulkanity Olenekskogo podnyatiya (severo-vostok Sibirskoy platformy) [Late Vendian potassium alkaline volcanics of the Olenek uplift (north-east of the Siberian platform)]. Doklady Akademii nauk SSSR [Reports of the Academy of Sciences of the USSR], 1989, V. 7, No. 3, P. 678–682. (In Russ.)
  18. Cocks L. R. M., Torsvik T. H. Siberia, the wandering northern terrane, and its changing geography through the Palaeozoic. Earth-Science Reviews, 2007, V. 82, P. 29–74.
  19. Nikolenko E. I., Lobov K. V., Agashev A. M., Sharygin I. S., Nikolenko A. M.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology and new mineralogical and geochemical data from lamprophyres of Chompolo field (South Yakutia, Russia). Minerals, 2020, V. 10, No. 10, P. 886.
  20. Sobolev N. V., Lavrent'ev Yu. G., Pokhilenko N. P., Usova L. V. Chrome-rich garnets from the kimberlites of Yakutia and their parageneses. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1973, V. 40, P. 39–52.

Статья поступила в редакцию 08.07.22; одобрена после рецензирования 08.09.22; принята к публикации 27.09.22.  
The article was submitted 08.07.22; approved after reviewing 08.09.22; accepted for publication 27.09.22.