**Оригинальная статья / Original article**
**УДК 549+551.21+552.4(470)**
**DOI: http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-177-193**

# Апокимберлиты реки Вакунайки: новые данные и перспективы

**© П.Ф. Иванов[a], Т.И. Хмельницкая[b]**
[a,b]ООО «Ангарская инвестиционная компания», г. Иркутск, Россия

***Резюме:*** С 1947 г. в Иркутской области были начаты поиски алмазов и их источников. После открытия крупных алмазных месторождений Якутии масштабные поиски алмазов в Иркутской области по ряду различных причин были практически прекращены, несмотря на многочисленные находки их кристаллов в аллювии крупных водотоков севера и юга региона. Общие поиски алмазов в платформенной части области проводились посредством групповой геологической съемки и тематических работ. К сожалению, несмотря на полувековую историю поисков, коренные источники алмазов в пределах платформенной части Иркутской области выявить не удалось. Описываемая территория входит в состав Нижне-Тунгусского (Непско-Чонского) алмазоносного района. Его алмазоносность обусловлена магматическим, литолого-стратиграфическим, структурно-тектоническим, минералогическим и геоморфологическим факторами. Перспектива алмазоносности площади была установлена в ходе многолетних геолого-разведочных работ Иркутского геологического управления (ПГО «Иркутскгеология»), Амакинской экспедиции (ПГО «Якутскгеология»), а также тематических работ научно-производственных организаций Советского Союза и Российской Федерации. При помощи метода шлихового опробования в большинстве водотоков площади были выявлены парагенетические минералы – спутники алмаза – пиропы и хромшпинелиды. С 2006 г. целенаправленные поисковые работы на алмазы в контурах Иркутской области, в том числе в Катангском районе, проводит ООО «Ангарская инвестиционная компания». Цель этих исследований заключается в поисках коренных источников алмазов. Объектом исследования является Верхнечонская лицензионная площадь (далее – Иркутская площадь). Методы проводимых исследований включают: поисковые маршруты, шлиховое, мелко-объемное и глубинное шлиховое опробование, наземную магнитометрию, проходку шурфов и скважин колонкового бурения для заверки геофизических и минералогических аномалий, выделенных по итогам предшествующих и собственных алмазопоисковых работ, аналитические, лабораторные работы и камеральную обработку полученных данных. Одним из наиболее значимых результатов проводимых исследований для этой территории стала находка пород кимберлитовой природы. Впервые на территории Сибирской платформы – на севере Иркутской области – были выявлены образования, которые по минералогическим, геохимическим и петрохимическим данным сопоставимы с кимберлитами. Образования получили рабочее название апокимберлиты. Породы подверглись интенсивным наложенным процессам, практически целиком изменившим их первичный облик и состав. Они слагают диатрему сложной морфологии, строение которой несет следы неоднократных тектонических подвижек. Структурно-тектоническое положение диатремы во многом аналогично кимберлитовым трубкам и дайкам Якутской алмазоносной провинции**.** Основным выводом проведенных исследований является то, что находка ультраосновных пород кимберлитовой группы позволит рассматривать перспективы коренной алмазоносности северных территорий Иркутской области как очень высокие.

***Ключевые слова:*** апокимберлиты, Иркутская площадь, диатрема, алмазоносность, кимберлитовые поля

***Информация о статье:*** Дата поступления 11 марта 2020 г.; дата принятия к печати 29 мая 2020 г.; дата онлайн-размещения 30 июня 2020 г.

***Для цитирования:*** Иванов П.Ф., Хмельницкая Т.И. Апокимберлиты реки Вакунайки: новые данные и перспективы. *Науки о Земле и недропользование.* 2020. Т. 43. № 2. С. 177–193. https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-177-193

# Altered kimberlites of the Vakunaika river: new data and prospects

**© Pyotr F. Ivanov[a], Tamara I. Khmelnitskaya[b]**
[a,b]LLC Angarsk Investment Company, Irkutsk, Russia

***Abstract:*** Prospecting for diamonds and their sources started in the Irkutsk region in 1947. After the large diamond deposits were discovered in Yakutia, the high-scale diamond prospecting in the Irkutsk region was nearly abandoned for a number of reasons though there were numerous diamond crystals found in the alluvium of the major

watercourses in the north and south of the region. The general search for diamonds in the platform part of the region was conducted by geological survey and dedicated research projects. However, the half-century prospecting failed to identify primary diamond sources in the platform part of the Irkutsk region. The described territory belongs to the Lower-Tunguska (Nepa-Chona) diamond province. Its diamond content is attributable to the magmatic, lithologic-stratigraphic, tectonic, mineralogical, and geomorphological factors. The diamond-bearing prospects of the area were determined by the many-year exploration conducted by the Irkutsk Geology Directorate ("PGO Irkutskgeologia"), the Amakinskaya survey party ("PGO Yakutskgeologia"), and by the dedicated projects of the research-and-production organizations of the USSR and Russian Federation. The heavy mineral sampling identified pyropes and chromespinelides, the minerals that are paragenetically associated with diamonds, in most of the watercourses of the area. LLC Angarsk Investment Company has been prospecting for diamonds in the Irkutsk region including the Katangsky district, since 2006. The aim of the exploration is to identify primary diamond sources, the research object being Verkhnechonskaya license area (hereinafter, Irkutsk area). The research methods include reconnaissance traverse, heavy mineral sampling in small volumes and from depth, ground-based magnetometry, prospecting and core drilling to verify the geophysical and mineralogical anomalies identified by the previous diamond prospecting operations, analytical and laboratory studies, and processing of the obtained data. One of the most significant research results is the discovery of the rocks of kimberlite nature. For the first time, the search in the Siberian platform area has identified formations that resemble kimberlites by their mineralogical, geochemical and petrochemical data. The formations have been provisionally named altered kimberlites. The rocks had been subjected to the intensive superimposed processes that nearly completely altered their original appearance and composition. They form a diatreme of complex morphology, the structure of which shows the signs of repeated tectonic shifts. The structural and tectonic conditions of the diatreme are in many respects similar to those of the kimberlite pipes in the Yakutia diamond-bearing province. The main conclusion is that the discovery of the ultrabasic rocks of the kimberlite group allows us to consider the primary diamond potential of the northern areas in the Irkutsk region to be very high.

***Keywords:*** altered kimberlites, Irkutsk area, pipe, diamond-bearing, kimberlite fields

***Information about the article:*** Received March 11, 2020; accepted for publication May 29, 2020; available online June 30, 2020.

***For citation:*** Ivanov PF, Khmelnitskaya TI. Altered kimberlites of the Vakunaika river: new data and prospects. *Earth sciences and subsoil use.* 2020;43(2):177–193. (In Russ.) https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-2-177-193

## Введение

В 2010 г. в верхнем течении р. Вакунайки при проведении полевых поисковых работ был обнаружен небольшой коренной выход интенсивно измененных пород, которые в поле были диагностированы как «серпентиниты». Это зеленовато-серого цвета порода обломочно-пятнистого облика с фрагментами неоднородно-ячеистого строения, напоминающая бластоагломератовую структуру, с неясно выраженной сланцеватостью, очень вязкая (рис. 1). В ней наблюдаются обособления темно-зеленого и белого цвета, реже отмечаются прямоугольные реликты кристаллов, полностью замещенные глинистым веществом белого цвета (сапонитом?). Текстура образований неясно крупнообломочная, участками узловато-пятнистая. При ударе молотком порода раскалывается на неровные куски и плитки.

Первичный ультраосновной состав матрикса установлен по наличию оливина двух генераций, перовскита, характеру вторичных изменений (серпентинизации, карбонатизации), реликтов флогопита и развивающегося по нему вторичного хлорита. Сходство с кимберлитами обусловлено как близким химическим составом породы, так и структурно-текстурными особенностями.

В пределах выявленного тела широко развиты породы с брекчиевидной пятнисто-узорчатой текстурой. Структура пород – петельчатая, замещения и обломочная. Минералогический анализ проб показал весовые содержания серпентина, хромита, перовскита, оливина (форстерит), гроссуляра, кальцита, сульфидных минералов, барита, знаки флогопита, андрадита, шпинели. Алмазы, пиропы и пикроильмениты в породе выявлены не были.

По химическому составу породы относятся к ультраосновным. Сравнительные характеристики химического состава пород, пересчитанные по методу А.Н. Заварицкого, близки к эталонным образцам известных кимберлитовых тел.

Сравнение содержаний породообразующих окислов описываемых образований с содержаниями окислов образцов из трубки «Мир» и средними содержаниями известных кимберлитовых трубок Якутии позволяет соотнести описываемые породы с кимберлитами (табл. 1).

***Рис. 1. Полированный штуф апокимберлитов***
***Fig. 1. Polished lump of altered kimberlite***

**Таблица 1**

**Сравнительная таблица химических составов кимберлитов трубки «Мир» по данным И.П. Илупина и др. [1] и апокимберлитов Иркутской площади, %**

**Table 1**

**Comparison of the chemical composition of the “Mir” pipe kimberlites according to I.P. Ilupin et al. [1], and the altered kimberlites of the Irkutsk area, %**

| Окислы | Номер образца и глубина взятия из трубки «Мир» (в скобках), м | | | | | | Апокимберлит, среднее из 9 анализов |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ZM-42 (-300) | ZM-35 (-617) | ZM-54 | BM-1131 | BM-1146 | BM-1174 | |
| $SiO_2$ | 28,4 | 34,75 | 36,25 | 24,72 | 28,1 | 27,1 | 31,19 |
| $TiO_2$ | 1,34 | 0,67 | 0,93 | 2 | 1,43 | 2,04 | 0,48 |
| $Al_2O_3$ | 3 | 3,54 | 3,07 | 2,38 | 2,62 | 2,36 | 5,83 |
| $Fe_2O_3$ | 5,88 | 4,14 | 4,83 | 7,76 | 6,54 | 6,64 | 2,85 |
| FeO | 2,98 | 2,87 | 2,96 | 7,77 | 2,32 | 2,47 | 0,75 |
| $Cr_2O_3$ | 0,18 | 0,12 | 0,16 | 0,27 | 0,14 | 0,07 | Не опр. |
| $V_2O_3$ | 0,023 | 0,015 | 0,007 | 0,038 | 0,015 | | Не опр. |
| MnO | 0,17 | 0,08 | 0,16 | 0,16 | 0,17 | 0,17 | 0,12 |
| MgO | 25,72 | 29,06 | 32,08 | 29,46 | 31,63 | 29,27 | 30,78 |
| CaO | 12,41 | 7,94 | 4,01 | 10,36 | 7,79 | 9,99 | 9,16 |
| $K_2O$ | 2,21 | 1,39 | 1,97 | 0,56 | 0,89 | 1,1 | 0,1 |
| $Na_2O$ | 0,22 | 0,22 | 0,22 | 0,08 | 0,11 | 0,22 | 0,23 |
| NiO | 0,14 | 0,15 | 0,1 | 0,13 | 0,13 | 0,15 | Не опр. |
| CoO | 0,02 | 0,018 | 0,024 | 0,02 | 0,02 | 0,022 | Не опр. |
| $P_2O_5$ | 0,87 | 0,35 | 0,43 | 0,71 | 0,6 | 0,6 | 0,027 |
| $SO_3$ | 0,16 | 2,47 | 0,16 | 0,08 | 0,04 | 0,5 | Не опр. |
| $CO_2$ | 7,52 | 2,24 | 1,95 | 3,08 | 0,28 | 6,03 | Не опр. |
| S | 0,33 | 0,22 | 0,064 | 0,01 | 0,03 | Не обн. | Не опр. |
| П.п.п. | Не обн. | Не обн. | 0,58 | 3,32 | 4,96 | 1,92 | 19,21 |

*Примечание.* П.п.п. – потери при прокаливании; не обн. – не обнаружено; не опр. – не определено.
*Note.* П.п.п. – losses due baking; не обн. – not found; не опр. – not identified.

## Материалы и методы исследования

С целью изучения выявленных образований, их структурно-тектонического положения и взаимоотношения с вмещающими породами в 2011–2012 гг. был проведен комплекс полевых исследований в контурах выделенного детального участка Северного. Было проведено колонковое бурение, осуществлены проходка канав, шурфов и расчисток и их шлиховое опробование, заверка элементов дешифрирования аэрофотоматериалов и интерпретация материалов аэромагнитной съемки, опробование всех магматических разновидностей ультраосновных и основных пород, составлена геологическая карта. Осуществлен ряд лабораторных и химико-аналитических испытаний вещества апокимберлитов, выполнены петрографические описания, минералогические и микрозондовые исследования. Изучение фазового и химического составов минералов было выполнено с использованием растрового электронного микроскопа в лаборатории локальных методов исследования вещества кафедры петрологии геологического факультета Московского государственного университета (МГУ). В данной статье результаты фазового и химического состава породообразующих минералов апокимберлитов не приводятся ввиду ограниченного объема публикации.

При изучении апокимберлитов Иркутской площади (ИП) применялись следующие виды анализов: силикатный количественный химический анализ, выполненный рентгенофлюоресцентным методом; микроэлементный рентгенофлюоресцентный анализ (15 элементов), методы масс-спектрометрии и атомно-эмиссионного анализа с индуктивно-связанной плазмой (4 пробы, 31 элемент). Силикатные анализы 9 проб выполнены в химической лаборатории Института геохимии СО РАН г. Иркутска (прибор S4 Pioneer, Bruker), 4 проб – в химической лаборатории МГУ г. Москвы. Физические свойства апокимберлитов изучались следующим образом: остаточная намагниченность измерялась каппаметром по всем образцам из горных выработок и керну скважин, плотность образцов – в лаборатории. На основе всех полученных данных был проведен сравнительный анализ апокимберлитов ИП, кимберлитов Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) и других ультраосновных пород.

Кроме этого, были определены следующие параметры апокимберлитов: природная влажность – 0,355 %, пористость – 15,45 г/см$^3$, плотность частиц – 3 г/м$^3$. По всем значениям физических величин апокимберлиты ИП практически идентичны средним кимберлитам ЯАП.

Петрографические исследования проводились как собственными силами, так и с привлечением геологов, специализирующихся на изучении петрологии кимберлитов, лампроитов и ультраосновных пород. Петрографические определения пород выполнены В.М. Кулигиной (один из основателей петрографической школы иркутских геологов-съемщиков), Т.И. Хмельницкой (ООО «Ангарская инвестиционная компания» (ООО АИК)), Г.В. Орловой, К.Н. Егоровым (Институт земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН)), В.П. Корниловой (центральная аналитическая лаборатория Ботуобинской геологоразведочной экспедиции АК АЛРОСА (ЦАЛ БГРЭ АК АЛРОСА)), В.К. Гараниным, А.В. Бовкуном (геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова). Всего было просмотрено более 100 прозрачных шлифов и около 50 полированных штуфов из апокимберлитов.

## Результаты исследования и их анализ

В результате проведенных геологоразведочных работ получены данные, подтверждающие находку на севере Иркутской области – в бассейне р. Вакунайки – щелочных ультраосновных пород кимберлитового ряда. За породами закрепилось рабочее название апокимберлиты. Последние слагают сложнопостроенную диатрему, строение которой было нарушено неоднократными тектониче-

скими подвижками и внедрением более поздних щелочных долеритов. На участке широко проявлены гидротермально-метасоматические процессы, связанные с трапповым магматизмом.

Апокимберлиты отличаются от долеритов и палеобазальтов значительной степенью выветривания. В открытых горных выработках, пройденных по апокимберлитам, отмечаются лишь дресва и мелкие несвязанные их обломки. Плотные апокимберлиты были выявлены только в скважинах на глубине не менее 7–8 м от дневной поверхности и в единственном коренном выходе (точка наблюдения 1923) (рис. 2). Субгоризонтальные контакты апокимберлитов с долеритами установлены в скважинах, на поверхности они не наблюдались. С палеобазальтами апокимберлиты образуют контакты сложной извилистой формы и эруптивные брекчии. Пространство между обломками палеобазальтов заполнено апокимберлитами, а в самих палеобазальтах наблюдаются их многочисленные прожилки и просечки, что свидетельствует о формировании на ранней стадии дробления базальтов структур растяжения, современных внедрению кимберлитов, которые «залечивали» зияющие полости и трещины.

В скважине 9 был отмечен контакт апокимберлитов с породами литвинцевской свиты. Известняки в результате многостадийных гидротермально-метасоматических преобразований были превращены в известковистые скарны. Контакт палеобазальтов с известняками крепкий, «сваренный», участками брекчированный, линия контакта образует сложные прямолинейно-извилистые формы. Вдоль линии контакта развиваются зоны рассланцевания, зеркала скольжения и приуроченные к ним гидроокислы железа. Характер трещиноватости во всех породах различен. Для кимберлитов характерно сочетание пологих и крутых систем трещин. Пологие трещины северо-западного простирания подчеркивают своеобразную наклонную отдельность кимберлитов с углами падения 10–15° (см. рис. 2).

Подобный тип «пологой отдельности» является характерным для кимберлитов Якутии [2]. Иногда параллельно этой системе трещиноватости в кимберлитах развиваются пологие разрывные нарушения типа взбросо-надвигов субширотного и запад-северо-западного

***Рис. 2. Пологая наклонная трещиноватость (отдельность) в апокимберлитах (точка наблюдения 1923)***
*По этой системе трещин зафиксированы пологие разрывы взбросо-надвигового типа*
***Fig. 2. Mildly sloping inclined fracture (jointing) in the altered kimberlites (observation point 1923)***
*In this fracture system, sloping gaps of the thrust slice and slide type have been registered*

простирания[1]. В известняках отмечается хаотичная система нелинейной трещиноватости, а на контакте с базитами – псевдоскладчатость, сформированная двумя системами трещин.

В пределах диатремы наблюдаются маломощные разрывные нарушения небольшой амплитуды. Для всех пород, кроме долеритов, характерна мелкая сухая трещиноватость. Особенно ярко она проявлена в палеобазальтах в скважине 10, где с первых же метров проходки возникли трудности с подъемом керна и его документацией. При выходе из снаряда керн нередко «взрывался» и рассыпался на мелкие обломки размером от 1 до 3–5 см, словно находился под сильным давлением (глубинным) или напряжением, хотя глубина скважины не превышала 50 м.

Диатрема вскрывается в правом борту небольшого ручья, русло которого приурочено к осевой части разрывного нарушения северо-восточного простирания. Кимберлитовое тело приурочено к узлу пересечения разлома северо-восточного простирания (входящего в осевую систему субпараллельных разрывов Ангаро-Вилюйской зоны глубинных разломов) с разломом северо-западного простирания [3]. Узел сопряжения обоих разломов находится в сфере влияния мощной (около 20 км) тектонической зоны субширотного направления, выделенной по данным интерпретации аэромагнитной съемки и дешифрирования аэрофото- и космоснимков.

Наиболее детально петрографические и электронно-зондовые исследования были выполнены по просьбе руководства ООО АИК в лаборатории месторождений алмаза геологического факультета МГУ В.К. Гараниным и А.В. Бовкуном. Результаты электронно-зондового исследования породообразующих минералов апокимберлитов не рассматриваются в данной статье ввиду ограниченного объема публикации. Во многом наши собственные наблюдения полностью аналогичны выводам, полученным указанными авторами. Ниже приведены результаты петрографического изучения апокимберлитов. Отметим, что фотографии и описания шлифов выполнены В.К. Гараниным и А.В. Бовкуном. Мы включили эти описания и фотографии в статью, учитывая их отличное качество.

Исследованные образцы из скважины С1 представляют собой породу, значительно разубоженную ксенолитами вмещающих пород (ороговикованными алевролитами) (рис. 3). Объем ксенолитов составляет не менее 40 %, размер – до 1 см. Оставшиеся 60 % образца представлены кимберлитоподобной породой с порфировой структурой. Вкрапленники составляют около трети ее объема и представлены зернами округлой и идиоморфной (гексагональной) формы размерами 0,1–0,5 мм. Они сложены серпентином, образующим псевдоморфозы предположительно по оливину одной генерации. Наряду с оливином в породе, возможно, присутствовал монтичеллит, так как морфология некоторых зерен и их характерное расположение в виде плотно примыкающих друг к другу выделений не исключают такой возможности. Связующая масса породы представлена тонкозернистым серпентиновым агрегатом с примесью слюды, редкими выделениями карбоната и многочисленными мелкими (обычно до 50, редко – до 100 мкм) зернами рудных минералов.

Слюда встречается в виде игольчатых и таблитчатых выделений размерами 10–50, реже до 100 мкм и представлена в различной степени хлоритизированным флогопитом. Зерна слюды распределены неравномерно и локализованы вблизи обломков роговиков, что предполагает вторичную природу слюдистых минералов. Количество слюды на таких участках может достигать 20 % от связующей массы породы.

Кальцит образует единичные выделения неправильной формы размером до 100 мкм.

[1] Гладков А.С., Борняков С.А., Манаков А.В., Матросов В.А. Тектонофизические исследования при алмазопоисковых работах: метод. пособие. М.: Научный мир, 2008. 175 с.

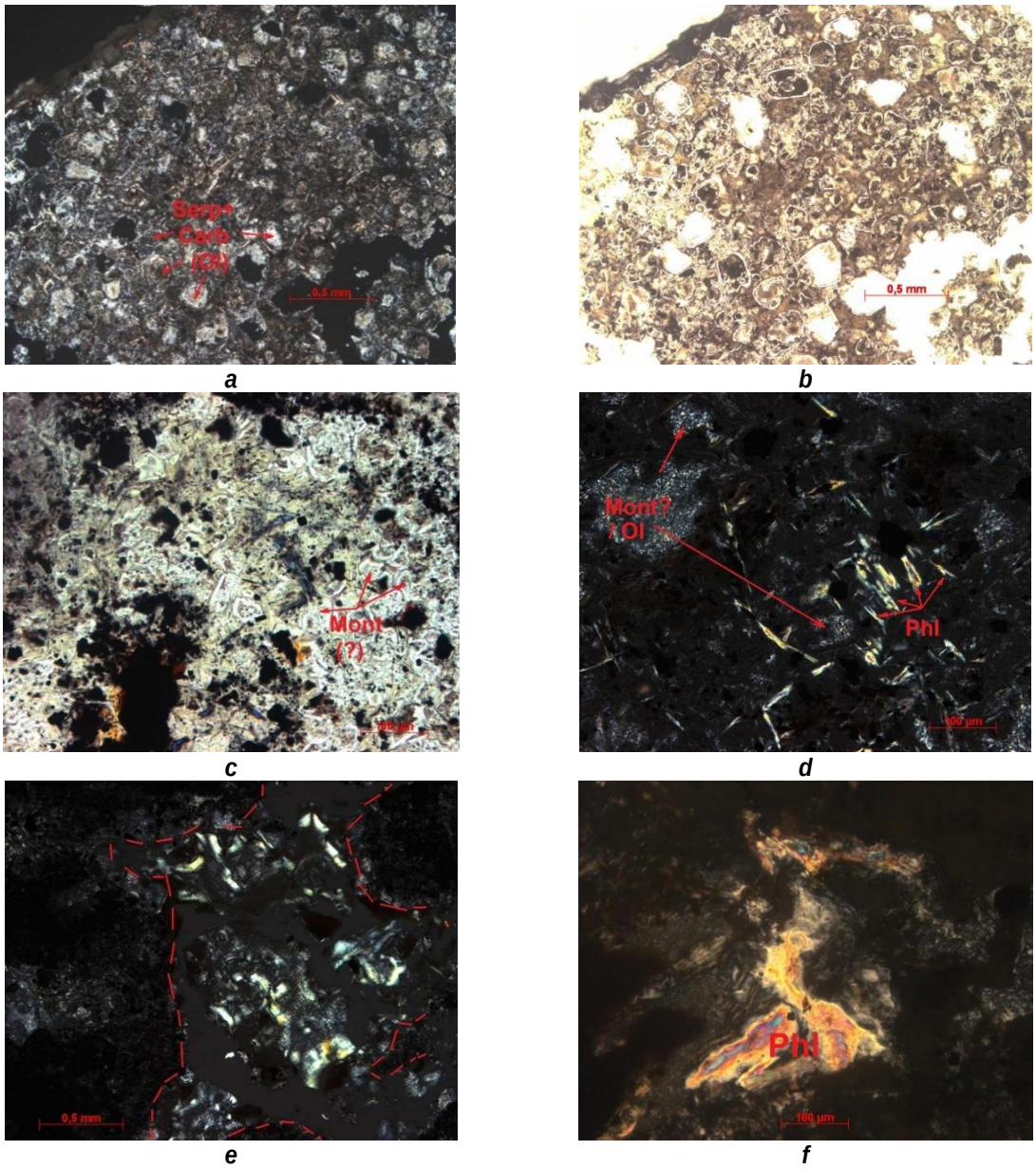



***Рис. 3. Общий вид кимберлитовой (?) породы из скважины С1 (образец С1/14,2) под микроскопом при скрещенных (a, c–f) и параллельных (b) николях***
***Fig. 3. General view of the kimberlite (?) rock from well C1 (sample C1/14,2) under the microscope with crossed (a, c–f) and parallel (b) Nicols***

Рудные минералы составляют порядка 5–7 об. % связующей массы и обычно представлены идиоморфными зернами размером до 50 мкм, реже зернами неправильной формы размером до 100 мкм.

В целом представленные образцы из скважины С1 и скважин С2 и С3 схожи, отличаются они главным образом количеством ксенолитов роговиков, вкрапленников оливина (псевдоморфоз по нему), зерен хлоритизированной слюды, выделений, похожих на монтичеллит, соотношением карбоната и серпентина в связующей массе. В шлифе С1/19,9 предполагается наличие оливина не одной, а двух генераций. В образце С2/28,5 присутствуют многочисленные обломки субщелочных базальтоидов трапповой формации.

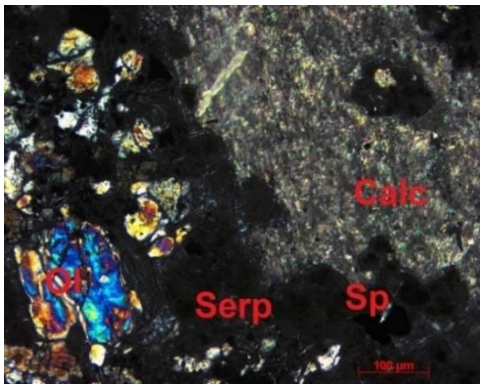
Исследованные образцы из точки наблюдения 1923 (коренное обнажение) представлены породой, состоящей из крупных – до 1 см – выделений оливина, сцементированных серпентин-кальцитовым материалом. Ксенолиты вмещающих пород представлены преимущественно

роговиками, имеют размер до 2 см и составляют до 50 % образца (рис. 4).

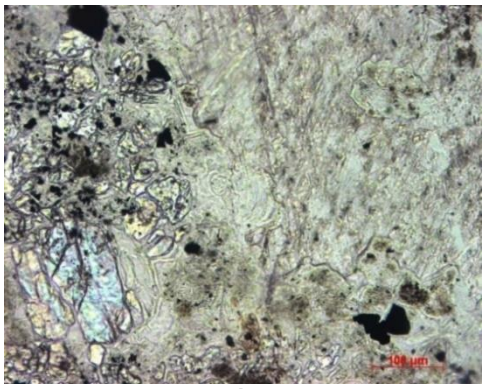
Оливин в породе распределен неравномерно, нередко составляет 20–25 % от общего объема породы. Представлен оливин интенсивно трещиноватыми и дроблеными зернами округлой формы, а также их скоплениями. Частично серпентинизирован. Реликты неизмененного оливина составляют около половины или чуть более объема подобных образований.

Кальцит образует гнездовые и прожилковые выделения неправильной формы размером до 1 см. Количество кальцита составляет около 20 % от объема породы.

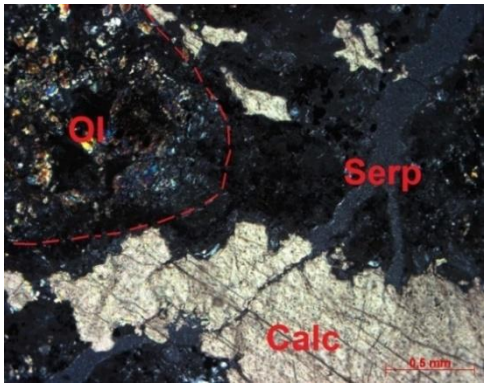
Серпентин слагает половину объема породы и представлен преимущественно мелкими (20–50, реже 100 мкм) округлыми зернами – это псевдоморфозы по оливину либо, предположительно, монтичеллиту. Его более крупные выделения (до 600 мкм) наблюдаются по периферии прожилков кальцита и в измененных участках оливиновых скоплений.



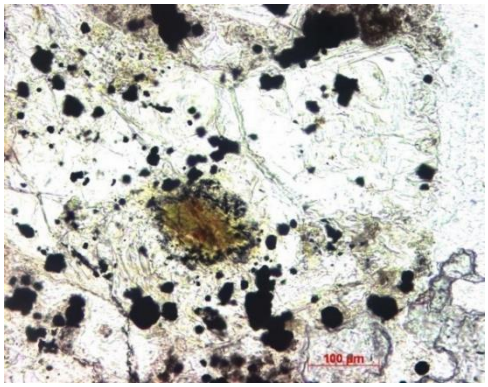

*a*



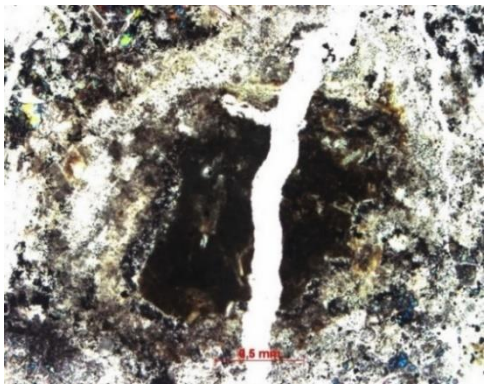
*b*




*c*




*d*




*e*

***Рис. 4. Общий вид породы. Образец 1923 под микроскопом при скрещенных (a, c) и параллельных (b, d, e) николях***
***Fig. 4. General view of the rock. Sample 1923 under the microscope with crossed (a, c) and parallel (b, d, e) Nicols***

Рудные минералы составляют порядка 3–5 % связующей массы пород и обычно имеют идиоморфный облик, их размер – до 50 мкм.

Химические анализы выполнены по всем разновидностям магматических пород ИП на участке Северном (апокимберлиты, палеобазальты и долериты). Наиболее полно были охарактеризованы апокимберлиты (табл. 2, 13 анализов). По долеритам и палеобазальтам было выполнено по два химических анализа. Поскольку базальты повсеместно образуют эруптивные брекчии с тонкими прожилками апокимберлитового состава, в пробу отбирались наименее измененные участки пород.

Апокимберлиты ИП по средним содержаниям оксидов аналогичны кимберлитам Сибирской платформы и незначительно отличаются от них пониженными содержаниями $TiO_2$, FeO, $Fe_2O_3$ и повышенными содержаниями $AL_2O_3$. Согласно одной из схем петрохимической классификации кимберлитов ЯАП (рис. 5) [4], по содержанию FeO, $TiO_2$, $K_2O$ апокимберлиты ИП близки к высокомагнезиальным, низкотитанистым и низкокалиевым

**Таблица 2**

**Химический состав апокимберлитов Иркутской площади**

**Table 2**

**Chemical composition of the altered kimberlites, Irkutsk area**

| Протокол химического анализа апокимберлитов Иркутской площади | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Номер пробы | * | Содержание породообразующих окислов, % | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | $SiO_2$ | $AL_2O_3$ | $TiO_2$ | $Fe_2O_3$ | FeO | MnO | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $P_2O_5$ | $S_{общ}$ | $CO_2$ | $H_2O$ | П.п.п. | Сумма |
| 1923 а | М | 27,6 | 7,72 | 0,89 | 2,85 | 0,94 | 0,056 | 28,2 | 12,8 | <1,0 | 0,031 | <0,5 | Н/о | Н/о | Н/о | 18,7 | 100 |
| С1/ 6,1 | М | 33,1 | 7,18 | 0,72 | 2,85 | 0,79 | 0,065 | 34,9 | 3,49 | 0,11 | 0,11 | <0,5 | Н/о | Н/о | Н/о | 16,6 | 100 |
| С8/ 48-48,5 | М | 35,1 | 4,5 | 0,39 | 2,23 | 0,47 | 0,078 | 35,5 | 4,12 | <1,0 | 0,02 | <0,5 | Н/о | Н/о | Н/о | 17,4 | 100 |
| С9/ 31-32 | М | 32 | 9,04 | 0,42 | 2,83 | 1,02 | 0,065 | 35,5 | 2,53 | <1,0 | 0,024 | <0,5 | Н/о | Н/о | Н/о | 16,4 | 100 |
| 1923 | И | 28,79 | 8,03 | 0,811 | 2,64 | 1 | 0,055 | 31,564 | 7,73 | 0,21 | 0,052 | 0,027 | Н/о | Н/о | Н/о | 19,6 | 100,51 |
| С8/ 20,6 | И | 33,41 | 9,26 | 0,767 | 4,46 | 0,79 | 0,078 | 29,79 | 6,86 | 0,13 | 0,053 | 0,05 | 0,51 | 2,78 | 12,65 | – | 101,59 |
| С8/ 4848,5 | И | 31,63 | 4,1 | 0,281 | 2,06 | 0,57 | 0,063 | 32,1 | 9,17 | 0,18 | 0,083 | 0,039 | 0,08 | 6,95 | 13,42 | – | 100,73 |
| С8/ 49-50 | И | 31,75 | 4,17 | 0,35 | 2,45 | 0,43 | 0,067 | 31,89 | 8,27 | 0,35 | 0,228 | 0,022 | 0,03 | 6,29 | 13,99 | – | 100,29 |
| С8/ 58-60 | И | 40,96 | 3,84 | 0,046 | 1,87 | 0,65 | 0,046 | 36,8 | 0,97 | 0,5 | 0,118 | 0,058 | 0,03 | 0,96 | 13,92 | – | 100,77 |
| С8/ 58-60/1 | И | 22,28 | 4,67 | 0,353 | 2,14 | 0,54 | 0,058 | 22,51 | 21,87 | 0,22 | 0,119 | 0,026 | 0,2 | 15,82 | 9,07 | – | 99,88 |
| С8/ 58-60/3 | И | 32,4 | 4,31 | 0,331 | 1,76 | 0,54 | 0,06 | 33,91 | 6,97 | 0,22 | 0,07 | 0,023 | 0,14 | 5,26 | 14,93 | – | 100,92 |
| 1923 а-1 | И | 28,78 | 7,83 | 0,895 | 3,75 | 0,93 | 0,055 | 30,59 | 8,65 | 0,15 | 0,095 | 0,025 | 0,09 | 5,86 | 12,98 | – | 100,68 |
| 1923 а(кон) | И | 28,38 | 8,47 | 0,873 | 4,35 | 1,26 | 0,058 | 28,71 | 10,55 | 0,11 | 0,05 | 0,034 | 0,12 | 6,47 | 11,83 | – | 101,26 |
| Средние содержания по 13 пробам, включая контроль | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Апоким-берлиты | | 31,24 | 6,39 | 0,55 | 2,79 | 0,76 | 0,06 | 31,69 | 8,00 | 0,22 | 0,08 | 0,03 | 0,15 | 6,30 | 12,85 | – | 100,51 |

*Примечание.* *М – московская лаборатория, и – иркутская лаборатория (Институт геохимии им А.П. Виноградова СО РАН). П.п.п – потери при прокаливании; н/о – не определено.

*Note.* *М – Moscow laboratory, и – Irkutsk laboratory (A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS). П.п.п. – losses due baking; н/о – not identified.

кимберлитам южных алмазоносных полей, исключая Накынское поле.

Прямое сопоставление неизмененных кимберлитов и апокимберлитов ИП, казалось бы, не вполне правомерно, учитывая значительную степень контаминации и изменения последних, однако химический состав кимберлитов в отличие от минерального при контактовом метаморфизме относительно более стабилен. «По данным (Илупин и др., 1978; Харькив и др., 1991) считается, что относительно инертными оксидами при вторичных процессах являются $TiO_2$, $FeO_{сум}$, $K_2O$, $Al_2O_3$ и $P_2O_5$ (первые три оксида следует учитывать в первую очередь при сопоставлении составов кимберлитов). В пределах каждого кимберлитового поля как на севере, так и на юге Якутской провинции можно выделить трубочные тела и даже кусты трубок, выполненные кимберлитом с относительно высоким или низким содержанием $TiO_2$, $FeO_{сум}$ и $K_2O$. Например, в Малоботуобинском поле кимберлиты трубок Мир и Аномалия 21 характеризуются повышенным содержанием $TiO_2$ (среднее содержание 1,7 и 2,5 масс. % соответственно) и $FeO_{сум}$ (9,5 и 7,0 масс. % соответственно). Однако в обеих группах трубок они характеризуются относительно низким содержанием $K_2O$ (менее 1 масс. %)» [4].

В табл. 3 приведены особенности состава апокимберлитов ИП в сравнении с составом кимберлитов Сибирской платформы и разновидностей траппов ИП. Из таблицы видно, что ультраосновные породы (кимберлиты) практически

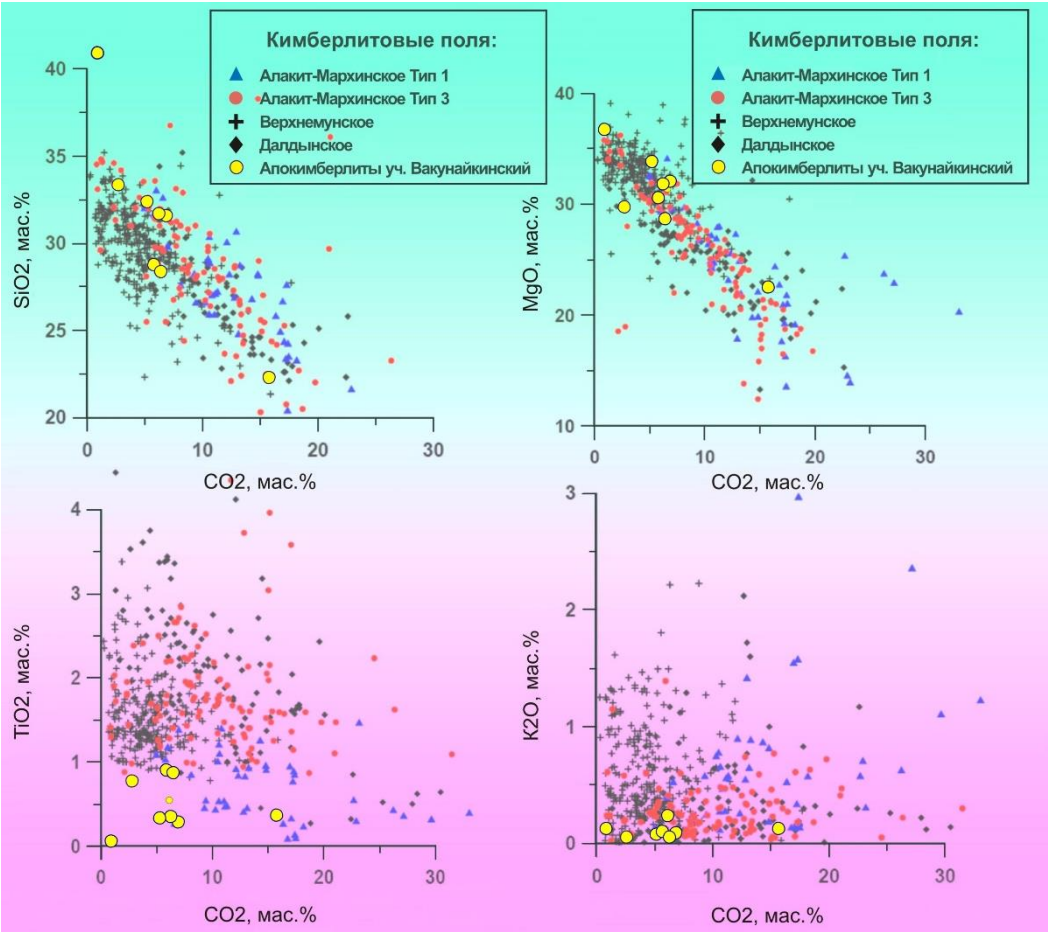



***Рис. 5. Диаграмма соотношения углекислоты с содержаниями породообразующих окислов ($SiO_2$, $TiO_2$, MgO, $K_2O$) кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции и апокимберлитов Иркутской площади [4]***

***Fig. 5. Diagram of the correlation between the carbon dioxide and the content of the rock-forming oxides ($SiO_2$, $TiO_2$, MgO, $K_2O$): the kimberlite fields of the Yakutian diamond-bearing province and altered kimberlites of the Irkutsk area [4]***

идентичны. В апокимберлитах ИП пониженное содержание $TiO_2$, $Fe_{общ}$ и повышенное содержание глинозема. По содержанию остальных компонентов отличия не фиксируются или несущественны. Низкие концентрации титана рассматриваются рядом исследователей как показатель высокой вероятности того, что кимберлиты принадлежат к высокоалмазоносному типу [1]. Низкотитанистые кимберлиты характерны для высокоалмазоносного Накынского поля и отличаются содержаниями $TiO_2$ < 1 вес. %, Y – 5–15 ppm; Zr – 18–160 ppm; La – 9,31–119,45 ppm. Умереннотитанистые кимберлиты представлены в промышленноалмазоносных Мирнинском, Далдынском и Верхне-Мунском полях ($TiO_2$ – 1,1–2,7 вес. %; Y – 6–31 ppm; Zr – 51–457 ppm; La – 29,98–226,16 ppm) [5], и, как показывают геохимические данные, в том числе изотопия стронция, неодима, свинца, этот тип кимберлитов наиболее близок алмазоносным кимберлитам первой группы Южной Африки [6].

Апокимберлиты ИП по соотношению $TiO_2$ и содержаниям некоторых микроэлементов (уран, торий, иттрий, литий, ниобий и др.) близки алмазоносным и высокоалмазоносным кимберлитам Мирнинского и Накынского полей и занимают промежуточное положение между ними.

Анализ геохимических данных апокимберлитов ИП показал, что в них наблюдаются повышенные значения таких элементов-примесей индикаторов кимберлитов, как ниобий, цирконий, уран, торий и $CO_2$. Существенно ниже, чем в среднем в кимберлитах Якутии, содержания никеля, хрома, кобальта, стронция, однако в интенсивно измененных кимберлитах отмечаются те же значения указанных элементов [7]. На севере Якутии в Староречинском кимберлитовом поле [8] и в Западной Якутии в недавно выявленных телах Сюльдюкарского кимберлитового поля [9] средние содержания элементов-примесей никеля, хрома, кобальта в кимберлитах аналогичны

**Таблица 3**

**Особенности состава апокимберлитов Иркутской площади в сравнении с составами кимберлитов Сибирской платформы и траппов Иркутской площади, %**

**Table 3**

**Composition specifics of the altered kimberlites of the Irkutsk area vs. the kimberlites of the Siberian platform and the traps of the Irkutsk area, %**

| Породообразующие окислы | Апокимберлиты Иркутской площади | Кимберлиты Сибирской платформы* | Субщелочные долериты Иркутской площади | Палеобазальты Иркутской площади |
|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 28–35 | 26,6–33 | 47,05 | 45,2–48,07 |
| $TiO_2$ | 0,33–0,89 | 1,08–1,31 (0,29–4,81) | 1,604 | 1,526–1,573 |
| $Al_2O_3$ | 3,84–9,26 | 2,1–6,43 | 14,02 | 13,76–15,23 |
| $Fe_2O_3$ | 2,0–4,46 | 2,85–9,02 | 6,43–6,80 | 4,54–5,88 |
| FeO | 0,54–1,26 | 1,86–3,73 | 4,85–5,75 | 6,25–7,90 |
| MgO | 28–32 | 22–36 | 6,32–8,43 | 6,50–7,80 |
| MnO | 0,05–0,07 | 0,05–0,1 | 0,15–0,20 | 0,18–0,19 |
| CaO | 6–10 | 1–16 | 9,53–11,5 | 10,96–12,93 |
| $Na_2O$ | 0,1–0,35 | 0,1–0,59 | 2,21–4,01 | 2,25–2,76 |
| $Ka_2O$ | 0,1–0,23 | 0,24–0,54 | 0,305–1,94 | 0,51–0,53 |
| $CO_2$ | 0,96–15,82 | 1–12 | – | 0,19 |

*Примечание.* *Данные о составе кимберлитов Сибирской платформы приведены по книге «Геология и генезис алмазных месторождений» [7].

*Note.* *The data on the composition of the Siberian platform kimberlites are taken from the book “Geology and Genesis of Diamond Fields” [7].

таковым в апокимберлитах ИП и оставляют также первые десятки грамм на тонну. Таким образом, четких геохимических отличий по набору когерентных и некогерентных кимберлитам микроэлементов в апокимберлитах ИП не выявлено. Широкие вариации содержаний и состав микроэлементов в общем характерны для кимберлитов, но апокимберлиты ИП не обнаруживают заметных отличий ни при прямом сравнении содержаний элементов, ни при пересчете некоторых отношений (лантан/иттербий, цирконий/ниобий, барий/ниобий, уран/торий и др.).

Таким образом, петрохимические и геохимические параметры апокимберлитов ИП позволяют сделать следующие предварительные выводы:

– апокимберлиты ИП являются интенсивно метаморфизованными кимберлитами, характерными для ЯАП;

– несмотря на высокую степень изменения минерального состава апокимберлиты ИП сохраняют основные петрохимические и геохимические критерии кимберлитов;

– при интенсивном метаморфизме кимберлитов в них резко уменьшаются (в десятки раз) содержания когерентных элементов (никель, кобальт, хром, ванадий), что наблюдается в апокимберлитах ИП, но также аналогичные пониженные содержания никеля, кобальта, хрома и ванадия (первые десятки грамм на тонну) установлены в неизмененных кимберлитах Староречинского кимберлитового поля и недавно открытых алмазоносных кимберлитах Сюльдюкарского поля;

– по соотношениям породообразующих окислов $Fe_{общ}$, $TiO_2$, $K_2O$, $CO_2$ и некоторых элементов (лантан/иттербий, цирконий/ниобий, барий/ниобий, уран/торий и др.) апокимберлиты ИП сопоставимы с высокомагнезиальными, низкотитанистыми, низкокалиевыми кимберлитами южных алмазоносных полей Якутии (Малоботуобинское, Алакит-Мархинское);

– по концентрациям иттрия, циркония, лантана и содержанию $TiO_2$ апокимберлиты ИП идентичны алмазоносным кимберлитам ЯАП и Южной Африки;

– отмечаемая рядом исследователей положительная корреляция содержаний $CO_2$, CaO, соотношения MgO/FeO и алмазоносности кимберлитов наблюдается и в апокимберлитах ИП.

## Обсуждение результатов

По генетической и классификационной принадлежности выявленных пород специалисты-петрографы не пришли к единому мнению. Часть исследователей считает их кимберлитоподобными или интенсивно измененными кимберлитами (В.М. Кулигина, автор данной статьи Т.И. Хмельницкая, В.К. Гаранин, А.В. Бовкун), другие пришли к выводу, что они являются ультраосновными дериватами траппов (В.П. Корнилова). К.Н. Егоров отнес данные образования к скарноидам. По мнению авторов данной статьи, объем материала, проанализированного вышеперечисленными исследователями (В.П. Корниловой, К.Н. Егоровым), и его состояние были незначительны для окончательной диагностики пород. Кроме того, при решении данного вопроса необходимо было учитывать также геолого-структурное положение выявленного объекта, его взаимоотношение с вмещающими базальтами и молодыми щелочными долеритами, интенсивность проявления наложенных процессов, результаты минералогических и тонких анализов.

Приведенные петрографические описания и результаты анализов позволяют говорить о том, что представленные породы являются щелочными ультраосновными породами, во многом тождественными «неслюдяным» (базальтическим) кимберлитам I типа по классификации P.A. Wagner [10]. В образцах из скважины С1 апокимберлиты имеют мелкопорфировую структуру. Вкрапленники полностью замещены и представлены преимущественно мелкими (0,1–0,5 мм) зернами оливина (псевдоморфозами по оливину) одной генерации (образец С1/14,2). В некоторых образцах (С1/19,9) встречаются редкие псевдоморфозы по оливину более крупного размера, но ярко выраженных вкрапленников оливина I генерации не наблюдается, что обычно

присуще сравнительно быстро остывающим кимберлитовым породам дайковой фации. В породах скважины С1 присутствуют неравномерно распределенные псевдоморфозы, возможно, развивающиеся по монтичеллиту. Об этом свидетельствуют их характерная форма и расположение в породе. Следует заметить, что монтичеллит – один из типичных минералов кимберлитов I типа и альнеитов. Присутствующая в породе в незначительном количестве интенсивно хлоритизированная слюда (флогопит), вероятно, имеет позднемагматическое происхождение. Так как микрозондовый анализ был выполнен по шлифам, где весь флогопит полностью хлоритизирован, это не позволило определить его состав.

Породы образца 1923 из коренного обнажения отличаются от пород из скважин С1–С3 присутствием крупных (до 1 см) вкрапленников частично серпентинизированного оливина, составляющих до 20–25 об. % объема породы. Они представлены интенсивно трещиноватыми и дробленными зернами округлой и неправильной формы, а также их скоплениями. Кроме того, в породе из точки наблюдения 1923 повышено количество кальцита, слагающего крупные гнездовые и прожилковые выделения неправильной формы.

Специалистами ЦАЛ БГРЭ АК АЛРОСА и ИЗК СО РАН также были изучены образцы данных пород и проведены следующие лабораторные исследования: химический, рентгенографический, петрографический, минералогический анализы. В результате проведенных исследований получен предварительный вывод, который мы приводим полностью: «По результатам наших исследований порода, слагающая данное тело, является скарноподобным гибридным контактовым образованием со следами глубокой переработки многостадийным магнезиальным метасоматозом. Присутствие в первичном субстрате породы магматической компоненты ультраосновного состава не вызывает сомнения по масштабности развития магнезиальных минералов. В то же время полное отсутствие барофильных минералов, мантийных включений, а также устойчивых к процессам преобразования коровых ксенолитов в образце не позволяет отнести изученные породы к кимберлитам, пусть даже интенсивно преобразованным долеритовой интрузией. Вероятнее всего, они представляют собой ультраосновные дифференциаты базальтовой магмы, которые в последующем подверглись милонитизации и переработке гидротермально-метасоматическими процессами».

Авторам вполне понятны сомнения и осторожность выводов разных исследователей при изучении вещества столь сложных и интенсивно измененных пород, которые, вероятнее всего, не имеют аналогов в ближайшем геологическом окружении, а возможно, и в России вообще. Кроме того, отсутствие в них алмазов и характерных для кимберлитов минералов-спутников для многих исследователей является отрицательным фактом для продолжения исследований.

Некоторые контрдоводы авторов данной работы в пользу именно кимберлитовой природы явления сводятся к следующему.

Взаимоотношения магматических пород (долеритов, апокимберлитов и базальтов) изучались в коренных выходах и многочисленных горных выработках (шурфах и скважинах), между всеми разновидностями установлены «рвущие» контакты. Апокимберлиты рвут базальтоиды, нередко с формированием эруптивных брекчий и сложных прожилковых структур штокверкового типа. Базальты и кимберлиты в свою очередь интрудированы долеритами субщелочного состава и образуют сложное штокообразное тело (гарполит? лакколит?) с многочисленными апофизами.

Выявленные в апокимберлитах псевдогальки флюидно-эксплозивного характера подчеркивают газово-флюидную природу пород. Природа их схожа

с природой сферолитовых ксенолитов и автолитовых обломков в кимберлитах. Псевдогальки имеют округлую продолговатую форму, кремнисто-карбонатный состав и концентрическое строение в разрезе. В их центре наблюдаются затравки, вокруг которых формируется тело «гальки», нацело замещенное серпентином и гроссуляром. Внутренняя оторочка псевдогалек представлена чешуйчатым агрегатом, внутренняя часть его выполнена породой серпентин-карбонатного (кимберлитового?) состава, а внешняя кайма – практически сплошным гроссуляром. Кристаллы гроссуляра также встречаются и в центральной части галек, где они достигают размера до 1–2 см в поперечнике. На поверхности «галек» видны многочисленные разнонаправленные штрихи и борозды тектонического происхождения.

Очевидно, что выявленные породы ультраосновного состава не имеют никакого отношения к «скарноподобным гибридным контактовым образованиям со следами глубокой переработки многостадийным магнезиальным метасоматозом».

В апокимберлитах ИП не было выявлено ни одного признака проявления магнезиального метасоматоза.

Как известно, магнезиальные скарны развиваются на контакте гранитоидов с магнезиальными осадочными и метаморфическими породами и встречаются исключительно в гранито-гнейсовых комплексах древних щитов и вблизи контактов гранитоидов и основных пород в складчатых областях. Отметим и тот факт, что ни магнезиальные, ни какие-либо другие скарны не образуют эруптивных брекчий и не имеют «рвущих» контактов с вмещающими их породами. В нашем случае на контакте с апокимберлитами распространены именно известняки, а не доломиты литвинцевской свиты. Содержание MgO, необходимое и достаточное для образования магнезиальных скарнов на контактах с магматическими породами, должно составлять не менее 12–13 %, содержание же MgO в известняках литвинцевской свиты не превышает 1–2 %. В апокимберлитах ИП отсутствует характерная для скарнов (особенно магнезиальных) зональность. Наблюдаемое соотношение хризотила и лизардитов (1T и AL) свидетельствует о многократной переработке первичной магматической ультраосновной породы. Из-за ограниченного объема публикации таблицы соотношений хризотила и лизардитов (1T и AL) в статье не приведены.

Согласно современной петрографической классификации О.А. Богатикова, данные породы могут быть отнесены исключительно к лампрофирам ультраосновного ряда (к гипабиссальным породам, не имеющим плутонических или явных вулканических / покровных аналогов), то есть к кимберлитам или лампроитам. По химическому, минеральному составу и общей геологической и структурной обстановке данные породы можно отнести только к кимберлитам [11–13].

В России подобные изменения кимберлитов изучались в Якутии в кимберлитовых трубках «Краснопресненская», «Комсомольская», «Юбилейная», но при этом в контактовых апокимберлитовых метасоматитах этих тел сохранились хромиты, алмазы и высокохромистые пиропы, а основная масса оранжевых, красных пиропов и пикроильменитов в них полностью замещена или уничтожена. За рубежом близкие по составу породы были описаны как метакимберлиты в ряде работ M.G. Bardet. Из книги «Геология и генезис алмазных месторождений»: «В метакимберлитах, как правило, отсутствуют пироп и пикроильменит, хотя хромсодержащая шпинель, значительно более магнезиальная, чем в кимберлитах (как и в нашем случае), является обычным минералом. Нет сомнения в том, что метакимберлиты представляют собой породы, подвергшиеся интенсивному контактовому метаморфизму. При этом часть зерен пиропа и пикроильменита уничтожена, а некоторые из них заместились агрегатами других минералов, в то время как хромшпинелиды, будучи более

устойчивыми, сохранились, но под влиянием метаморфогенных факторов изменили свой состав – стали более магнезиальными и глиноземистыми…» [7]. В описываемых апокимберлитах наблюдается высокое содержание магния и алюминия в хромшпинелидах, что свидетельствует, по-нашему мнению, о глубокой переработке первичных кимберлитовых пород многостадийным кальциевым метасоматозом. Это явление, по мнению M.G. Bardet [14], представляет собой обычный процесс при контактовом метаморфизме кимберлитов Африканского континента.

Интенсивно проявленные процессы контактово-метаморфических и вторичных изменений существенно повлияли на минеральный состав апокимберлитов ИП (отсутствие пиропов, перекристаллизация оливина, практически полное замещение флогопита, превращение хромшпинелидов в алюмошпинели и др.), но особенности химического и микроэлементного состава характерны для основного количества кимберлитов мира.

## Заключение

Таким образом, апокимберлиты ИП по химизму близки алмазоносным и высокоалмазоносным кимберлитам ЯАП. Дальнейшее их изучение и поиски аналогов помогут пересмотреть и заново ревизовать перспективы коренной алмазоносности юга Сибирской платформы.

Находки кимберлитовых пород в районе, для которого они не были известны ранее, требуют всестороннего изучения.

Скважинами колонкового бурения 9, 10, 11, 12, пройденными по флангу тела в 2012 г. с целью обнаружения неизмененных кимберлитов, выявления потенциальной алмазоносности пород и изучения их вещественного и минералогического состава, неизмененные кимберлиты не вскрыты. По мнению авторов, кимберлиты могли быть срезаны интрузией щелочных долеритов, а неоднократно проявленные интенсивные гидротермально-метасоматические процессы могли привести к полному их уничтожению в пределах данного участка. Для выхода в неизмененные образования требуется значительный объем бурения и специализированные геофизические исследования скважин. Так как алмазов в пробах из апокимберлитов не обнаружено, инвесторами было принято решение о прекращении дальнейшего изучения диатремы и выявленных пород.

Сложное геологическое строение, стандартные подходы и методы проведения поисковых работ, отсутствие характерных критериев для поисков кимберлитов подобного типа, дорогостоящие работы для всестороннего изучения объекта (бурение, геофизические работы, аналитика и пр.) являются неблагоприятными факторами для продолжения исследований. Тем не менее сам факт находки ультраосновных пород кимберлитовой группы на северо-востоке Иркутской области в потенциально алмазоносном районе требует как продолжения изучения самих образований, так и продления сроков поисковых работ. Важен также факт того, что в этом же районе поисковыми работами ООО АИК были выявлены и оконтурены комплексные ореолы хромитов (в том числе алмазной ассоциации) и пиропов, характеризующихся высокой степенью сохранности и своеобразием цветовой гаммы. Анализ пиропов выявил все парагенетические типы ультраосновных мантийных ассоциаций (верлитовый, лерцолитовый и дунит-гарцбургитовый, в том числе алмазный). Среди проанализированных хромшпинелидов установлен высокий (около 60 %) процент высокомагнезиальных, высокохромистых и низкоглиноземистых разновидностей, относящихся к хромитам алмазного парагенезиса. По морфологическим и химическим особенностям значительная доля хромшпинелидов имеет кимберлитовый генезис.

Таким образом, вещественный состав, петрохимические и геохимические особенности описываемых пород, их текстурно-структурные особенности, взаимоотношения с разновозрастными

магматическими и осадочно-метасоматическими образованиями позволяют отнести данные породы именно к кимберлитам. Проведенное сравнительное изучение апокимберлитов и кимберлитов известных полей показали наличие как общих, так и отличительных особенностей. Широко проявленные вторичные процессы привели к интенсивному постмагматическому преобразованию кимберлитов с превращением их в своеобразные породы – апокимберлиты (метакимберлиты). Отмеченные вариации содержаний некоторых петрогенных оксидов обусловлены прежде всего неравномерным распределением контаминированного материала вмещающих пород и постмагматическими изменениями кимберлитов.

**Библиографический список**

1. Илупин И.П., Каминский Ф.В., Францессон Е.В. Геохимия кимберлитов. М.: Недра, 1978. 352 с.

2. Милашев В.А. Трубки взрыва. Л.: Недра, 1984. 268 с.

3. Кушев В.Г., Синицын А.В., Ермолаева Л.А., Каменецкий А.В. Структурно-тектоническое положение кимберлитов на древних платформах // Проблемы кимберлитового магматизма: сб. докл. Новосибирск: Наука, 1989. С. 38–42.

4. Костровицкий С.И., Морикио Т., Серов И.В., Яковлев Д.А., Амиржанов А.А. Изотопно-геохимическая систематика кимберлитов Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 3. С. 350–371.

5. Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., Krasavchikov V.O., Kuznetsova L.G., Khlestov V.V., Volkova N.I. Diamond potential estimation based on kimberlite major element chemistry // Journal of Geochemical Exploration. 2002. Vol. 76. Iss. 2. P. 93–112. https://doi.org/10.1016/S0375-6742(02)00219-4

6. Богатиков О.А., Кононова В.А., Зинчук Н.Н., Носова А.А., Голубева Ю.Ю. Геохимические критерии продуктивности кимберлитов Якутской алмазоносной провинции // Геология алмазов – настоящее и будущее: сб. ст. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. С. 743–751.

7. Геология и генезис алмазных месторождений / ред. Б.М. Зубарев. В 2 кн. Кн. 1. М.: Изд-во ЦНИГРИ, 1989. 242 с.

8. Шкодзинский В.С. Корреляция состава и некоторых особенностей размещения кимберлитов с содержанием в них алмаза // Литосфера. 2009. № 1. С. 86–92.

9. Мальцев М.В., Толстов А.В., Фомин В.М., Старкова Т.С. Новое кимберлитовое поле в Якутии и типоморфные особенности его минералов-индикаторов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2016. № 3. С. 86–94.

10. Wagner P.A. The diamond fields of South Africa. Johannesburg: Transvaal Leader, 1971. 353 p.

11. Егоров К.Н., Зинчук Н.Н., Кошкарев Д.А., Соловьева Л.В., Меньшагин Ю.В., Секерин А.П. Среднерифейский алмазоносный магматизм Сибиркой платформы. // Геология алмазов – настоящее и будущее: сб. ст. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. С. 457–466.

12. Джейкс А., Луис Дж., Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии: пер с англ. М.: Мир, 1989. 430 с.

13. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них: пер с англ. М.: Мир, 1983. 300 с.

14. Bardet M.G. Gisements de diamants d`Afrique. Geologie du diamant // Mem. Bur. rech geol. minieres. 1974. Vol. 2. No. 83. P. 229.

**References**

1. Ilupin IP, Kaminskii FV, Frantsesson EV. *Geochemistry of kimberlites.* Moscow: Nedra; 1978. 352 p. (In Russ.)

2. Milashev VA. *Volcanic pipes*. Leningrad: Nedra; 1984. 268 p. (In Russ.)

3. Kushev VG, Sinitsyn AV, Ermolaeva LA, Kamenetskii AV. Structural and tectonic position of kimberlites on the ancient platforms. In: *Problemy kimberlitovogo magmatizma* = Issues of kimberlite magmatism. Novosibirsk: Nauka; 1989. p.38–42. (In Russ.)

4. Kostrovitsky SI, Morikiyo T, Serov IV, Yakovlev DA, Amirzhanov AA. Isotope-geochemical classification of the Siberian platform kimberlites. *Geologiya i geofizika*. 2007;48(3):350–371. (In Russ.)

5. Vasilenko VB, Zinchuk NN, Krasavchikov VO, Kuznetsova LG, Khlestov VV, Volkova NI. Diamond potential estimation based on kimberlite major element chemistry. *Journal of Geochemical Exploration*. 2002;76(2):93–112. https://doi.org/10.1016/S0375-6742(02)00219-4

6. Bogatikov OA, Kononova VA, Zinchuk NN, Nosova AA, Golubeva YuYu. Geochemical criteria of the kimberlites' diamond potential: Yakutian diamond-bearing province. In: *Geologiya almazov – nastoyashchee i budushchee* = Diamond geology: present and future. Voronezh: Voronezh State University; 2005. p.743–751. (In Russ.)

7. Zubarev BM. *Geology and Genesis of Diamond Fields*. In 2 books. Book 1. Moscow: Central

Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals; 1989. 242 p. (In Russ.)

8. Shkodzinskii VS. Composition and setting of kimberlites: correlation with diamond potential. *Litosfera* = Lithosphere. 2009;1:86–92. (In Russ.)

9. Maltsev MV, Tolstov AV, Fomin VM, Starkova TS. New kimberlite field in Yakutia and typomorphic especially its indikators minerals. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya* = Proceedings of Voronezh State University. Geology. 2016;3:86–94. (In Russ.)

10. Wagner PA. *The diamond fields of South Africa*. Johannesburg: Transvaal Leader; 1971. 353 p.

11. Egorov KN, Zinchuk NN, Koshkarev DA, Solov'eva LV, Men'shagin YuV, Sekerin AP. Middle Riphean diamondiferous magmatism of Siberian Platform. In: *Geologiya almazov – nastoyashchee i budushchee* = Diamond geology: present and future. Voronezh: Voronezh State University; 2005. p.457–466. (In Russ.)

12. Jaques A, Lewis J, Smith C. The kimberlites and lamproites of Western Australia, 1989, 430 p. (Russ. ed.: *Kimberlity i lamproity Zapadnoi Avstralii*. Moscow: Mir; 1989. 430 p.)

13. Dawson J. Kimberlites and their xenoliths, 1980, 300 p. (Russ. ed.: *Kimberlity i ksenolity v nikh*. Moscow: Mir; 1983. 300 p.)

14. Bardet MG. Gisements de diamants d`Afrique. Geologie du diamant. *Mem. Bur. rech geol. minieres*. 1974;2(83):229. (In French)

**Критерии авторства / Authorship criteria**

Иванов П.Ф, Хмельницкая Т.И. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Pyotr F. Ivanov, Tamara I. Khmelnitskaya are the authors of the article, hold equal copyright and bear equal responsibility for plagiarism.

**Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

*All authors have read and approved the final version of this manuscript.*

**Сведения об авторах / Information about the authors**

**Иванов Петр Федорович,**
генеральный директор,
ООО «Ангарская инвестиционная компания»,
664025, г. Иркутск, ул. Российская, 17б, Россия,
✉ e-mail: Longdor2@mail.ru
**Pyotr F. Ivanov,**
CEO,
LLC Angarsk Investment Company,
17b Rossiyskaya St., Irkutsk 664025, Russia,
✉ e-mail: Longdor2@mail.ru

**Хмельницкая Тамара Ивановна,**
петрограф-минералог,
ООО «Ангарская инвестиционная компания»,
664025, г. Иркутск, ул. Российская, 17б, Россия,
e-mail: vera-ch74@mail.ru
**Tamara I. Khmelnitskaya,**
Petrographer, Mineralogist,
LLC Angarsk Investment Company,
17b Rossiyskaya St., Irkutsk 664025, Russia,
e-mail: vera-ch74@mail.ru