

### Методические основы использования нетрадиционных индикаторных минералов кимберлитов при шлихоминералогических поисках месторождений алмаза

**Аннотация.** Сформулированы основные диагностические признаки флогопитов, хлоритов и серпентинов в кимберлитах, для которых разработан оптимальный комплекс методов исследований. Серпентиновые минералы в основной массе кимберлитов распределены наиболее равномерно. Для кимберлитов Сибирской платформы наиболее типичными являются серпентин-кальцитовые, кальцит-серпентиновые, доломит-серпентин-кальцитовые и хлорит-серпентиновые ассоциации, встречающиеся во всех изученных диатремах. Хлоритизация флогопитов зависит от типов кимберлитов и степени их постмагматических и гипергенных преобразований. Изменение кимберлитов сопровождается перераспределением ассоциаций вторичных минералов, что выявлено при анализе различных типов пород кимберлитовых трубок. Установленные особенности минералов основной массы кимберлитов позволяют сравнивать обломки пород, обнаруженных во вторичных осадочных коллекторах, повышая эффективность проводимых геолого-поисковых работ.

**Ключевые слова:** вторичные минералы, Сибирская платформа, постмагматические и гипергенные изменения.

ЗИНЧУК НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, nnzinchuk@rambler.ru

Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) Академии наук Республики Саха (Якутия), г. Мирный

### Methodological principles for application of “unconventional” indicator minerals of kimberlites during the heavy mineral concentrate – mineralogical prospecting for diamond deposits

N. N. ZINCHUK

West Yakutian Scientific Center (ZYaNTs) of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Mirny

**Abstract.** The main diagnostic features of kimberlite-related phlogopites, chlorites, and serpentines are formulated, for which an optimal set of research methods has been developed. Serpentine minerals are distributed most evenly in the groundmass of kimberlites. The most typical for kimberlites of the Siberian Platform are serpentine-calcite, calcite-serpentine, dolomite-serpentine-calcite, and chlorite-serpentine assemblages found in all the diatremes studied. Chloritization of the phlogopites depends on the kimberlite types and the degree of their postmagmatic and supergene transformations. The kimberlite transformations are accompanied by a redistribution of the secondary mineral assemblages, which were revealed by analysis of various rock types within the kimberlite pipes. The established features of the minerals in the groundmass of the kimberlites allow for comparison of the rock fragments found in secondary sedimentary collectors, which increases the effectiveness of the geological exploration.

**Key words:** secondary minerals, Siberian Platform, post-magmatic and supergene alterations.

**Введение.** Ранее проведёнными исследованиями показано [11, 14–16, 18, 22–24], что в кимберлитовых породах диагностировано более шестидесяти вторичных минералов, среди которых около двадцати встречаются в виде хорошо образованных кристаллов. Охарактеризованы наиболее распростра-

нённые ассоциации новообразований в кимберлитах, а также процессы серпентинизации, карбонатизации, хлоритизации и бруситизации, имеющие индивидуальный характер в каждой диатреме. Приведённые при этом характерные свойства вторичных минералов позволяют уверенно их

диагностировать в кимберлитах как в отдельных выделениях, так и новообразованиях. Весомый вклад в изучение процессов образования вторичных минералов в кимберлитах в различные годы внесли исследователи под руководством Б. П. Антоныка, С. А. Бабушкиной, А. Т. Бондаренко, М. Д. Братуся, В. К. Гаранина, А. И. Горшкова, Б. П. Градусова, О. Е. Ковальчука, Д. Д. Котельникова, В. П. Корниловой, Л. Е. Костиной, Г. П. Кудрявцевой, Л. В. Лисковой, М. А. Мальцевой, С. С. Мацюка, Ю. М. Мельника, Л. В. Никишовой, Г. И. Смирнова, С. В. Соколовой, В. Н. Соколова, Ю. Б. Стегницкого, В. Г. Хитрова, В. А. Хмелевского, В. Г. Шлыкова, А. Д. Харьковича и др. Результаты исследований учитывались при сравнительной характеристике полученных нами материалов. Сложность и контрастность минералогического облика кимберлитовых пород в значительной степени обусловлены распространением комплекса вторичных минералов, являющихся пороодообразующими [12, 13, 17, 19, 20]. Среди многообразия идентифицированных вторичных минералов доминирующими являются карбонаты (кальцит, доломит и пироаурит), серпентины и слюды (флогопит и продукт его изменения хлорит). Учитывая относительную устойчивость в гипергенных условиях и при переотложении в бассейны седиментации, реально поисковое значение имеют слюды и серпентины [1–5, 25–27].

**Диагностические признаки слюд, хлоритов и серпентинов из кимберлитов и аналитические методы их исследований.** В кимберлитовых породах *слюды* представлены флогопитом магматического и постмагматического происхождения. Неизменённый *флогопит* в смеси с другими кимберлитовыми минералами диагностируется по свободному от наложений набору рефлексов  $d = 0,9830–1,0308, 0,3680–0,3990, 0,25156–0,25460, 0,20183–0,20286$  нм. В пневматолитово-гидротермально изменённых кимберлитах Сибирской (СП), Восточно-Европейской (ВЕП) и Южно-Африканской (ЮАП) платформ возможно присутствие гидрослюды, которая в отличие от флогопита имеет более широкие базальные рефлексы; межплоскостное расстояние первого превышает 1,01 нм, форма которого нередко имеет асимметричный вид. Довольно часто присутствует второй порядок отражения в области  $d \sim 0,5$  нм. Электронографические исследования позволяют выявить магматическое или гидротермальное происхождение флогопита. Первые имеют политип  $1M$ , а последние  $1M + 2M_1$  [28–30, 39–42]. В неизменённом флогопите, по данным термогра-

фических исследований, при  $T = 1100–1200$  °C происходит выделение конституционной воды, чем он отличается от мусковита, у которого дегидратация происходит при более низких температурах  $800–1000$  °C, и от биотита, имеющего экзотермический эффект при  $T = 600–900$  °C, связанный с окислением железа. Химический состав флогопитов из кимберлитов изменяется в пределах следующих изоморфных замещений [6–10, 31–34]: тетраэдрические катионы  $Al^{3+} \leftrightarrow Fe^{3+}$ ; октаэдрические катионы  $Mg \leftrightarrow Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ti^{+}$ ,  $Cr^{3+}$ ; межпакетные катионы  $K^{+} \leftrightarrow Na^{+}$ , Ca. ИК-спектры поглощения флогопитов анализируются в области  $3750–3000$   $cm^{-1}$  по полосам N ( $3422–3632$   $cm^{-1}$ ), I ( $3672–3572$   $cm^{-1}$ ), V ( $3622–3454$   $cm^{-1}$ ) и W ( $3563–3124$   $cm^{-1}$ ), которые соответствуют валентным колебаниям группы OH, координированной различными группировками катионов  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ti^{+}$ , вакансиями и молекулярной воды [35–38, 40–42].

*Хлорит* в кимберлитах образуется в зоне слабого водообмена и в условиях восстановительной среды, характеризующейся избытком  $Mg^{2+}$ , который возникает за счёт основной массы кимберлитовых пород, где в большом количестве присутствует серпентин. В этих условиях происходит преобразование флогопита в магнезиальный хлорит, которое является твердофазовым переходом [12, 16, 20, 21]. В процессе структурного превращения вторичный хлорит унаследует в общих чертах строение триоктаэдрического слоя исходного флогопита [30–32]. Хлорит в кимберлитовых породах на рентгеновских дифрактограммах диагностируется по серии рефлексов, кратных  $\sim 1,4$  нм. Рентгенографическим методом можно оценить Mg-Fe состав хлоритов по интенсивностям линий рентгеновской дифракции, которые изменяются в зависимости от количества катионов Mg и Fe в октаэдрическом слое минерала [6–9]. Идентификация хлорита в кимберлитах осложняется присутствием серпентина и брусита. В большинстве случаев линии дифракции, соответствующие хлоритам и серпентинам, разрешаются, за исключением алюмосерпентина. В случае разрешения линий хлорита и серпентина представляется возможным отнести хлорит к Mg, Mg-Fe или Fe разновидностям.

Кривые ДТА на дериватограммах хлоритов из основной массы кимберлитов дают слабые, мало-выразительные термические эффекты. Два эндотермических эффекта лежат в интервале  $620–690$  и  $790–860$  °C и один экзотермический эффект в диапазоне  $801–880$  °C. Основная потеря массы про-

исходит при выделении воды из слоёв 2:1 и соответствует второму эндотермическому эффекту. Термографический метод позволяет оценить Mg-Fe состав хлорита. Однако в основной массе кимберлитов невозможно выявить Fe разновидность, которая чаще всего не имеет экзотермической реакции и второго эндотермического эффекта. Диагностику также осложняет присутствие серпентина. Тем не менее комплексное использование термографического и рентгенографического методов позволяет надёжно выполнить диагностику хлорита и оценить его Mg-Fe состав в смеси с другими кимберлитовыми минералами.

В кимберлитовых породах СП, ВЕП и ЮАП минералы *группы серпентина* представлены *лизардитом* и *хризотилом*, которые образуются по основной массе породы в результате метасоматических преобразований оливина, пироксенов и ксенолитов карбонатных пород и за счёт гидротермально-метасоматических процессов. Кроме того, в основной массе кимберлитов встречается алюмосерпентин, происхождение которого окончательно не выяснено. Дифракционная картина серпентинов на рентгеновских дифрактограммах имеет набор рефлексов с максимумами  $d = 0,720\text{--}0,737, 0,452\text{--}0,460, 0,360\text{--}0,366, 0,2500\text{--}0,2481, 0,1537\text{--}0,1541, 0,1500\text{--}0,1507$  нм. Встречаются серпентины, у которых характерные отражения  $0,2500$  и  $0,2450$  нм лизардита и хризотила сливаются в один широкий пик, а отражение  $d = 0,1500$  нм лизардитового дуплета отсутствует и фиксируется лишь широкий пик с максимумом  $0,1530\text{--}0,1540$  нм. При этом форма всех пиков имеет значительное уширение и слабую интенсивность. Это является признаками наличия разнообразных нарушений и неупорядоченности структуры в порядке наложения слоёв серпентина [31–34]. Кроме того, серпентинам из кимберлитов свойственны значительные вариации относительной интенсивности линий  $00l$ , вызванные различной степенью нарушений структуры минерала в области ОН групп. Такого рода нарушения могут возникать вследствие изменения рН-условий среды кристаллизации серпентинов. Для оценки степени дефектности серпентинов предложено использовать величину  $I_{02}/I_{001}$ , где  $I_{02}$  и  $I_{001}$  интенсивности полосы 02 и линии 001 рентгеновской дифракции. В кимберлитовых породах эта величина изменяется в пределах от 0,1 до 1. В кимберлитовых породах рассматриваемых древних платформ дольно часто встречается алюмосерпентин, который диагностируется по смещениям линий

базальных отражений, соответствующих межплоскостным расстояниям [38–40]  $d(001) 0,719$  нм и  $d(002) < 0,360$  нм. Кривые ДТА на дериватограммах серпентинов подобны термографическим кривым хлоритов. Но они отличаются тем, что все термографические эффекты серпентинов смещены в область более низких температур. Основной эндотермический эффект у серпентинов из кимберлитов наблюдается в интервале  $675\text{--}710$  °С и экзотермический – в интервале  $800\text{--}820$  °С, который на кривых ДТА серпентинов из кимберлитов нередко отсутствует. Наличие и интенсивность экзотермического эффекта зависят от степени совершенства кристаллического строения серпентинов [11, 14, 21, 22]. Для серпентинов из кимберлитов наблюдается соответствие оценок степени нарушений структуры минерала, выполненных рентгенографическим (с помощью величины  $I_{02}/I_{001}$ ) и термографическим (по интенсивности экзотермического эффекта) методами. Для электрограмм серпентинов из кимберлитов характерно отсутствие чётких рефлексов на первом эллипсе. Это говорит о низкой степени порядка в наложении слоёв структуры минерала [25–28]. Серпентины, как правило, имеют структурный тип А + В, который в гипергенных условиях переходит в тип А [29–31]. В серпентиновых минералах все октаэдрические катионы могут замещаться не только катионами  $Mg^{2+}$ , но и  $Mn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ti^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$  [13, 17–20], в тетраэдрические позиции может входить  $Al^{3+}$ , образуя алюмосерпентин [36–38]. В ИК-спектрах в области колебаний Si-O связи серпентины характеризуются основной интенсивной полосой поглощения с волновым числом около  $990\text{--}980$  см<sup>-1</sup> (валентные колебания) и двумя полосами  $615\text{--}570$  и  $450$  см<sup>-1</sup> (деформационные колебания). Валентные колебания ОН-группы проявляются в виде узкой интенсивной полосы с максимумом  $3700$  см<sup>-1</sup>, что характеризует пластичатые разновидности хлорита [29–32].

**Распределение нетрадиционных индикаторных минералов в основной массе кимберлитов.** Особенности распределения вторичных минералов в основной массе кимберлитов (по данным полуколичественного рентгенографического анализа) исследованы на примере продуктивных кимберлитовых пород трубок следующих кимберлитовых полей: Мирнинского (Мир, Интернациональная), Накынского (Ботубинская, Нюрбинская), Алакит-Мархинского (Айхал, Сытыканская, Юбилейная, Комсомольская), Далдынского (Удачная, Иреляхская, Зарница, Фестивальная, Долгожданная),

Верхне-Мунского (Заполярная, Деймос, Поисковая, Новинка) и взрывчатых брекчий щелочно-ультраосновных пород Прианабарья. При изучении характера развития и распространения серпентинов, слюды, хлорита, талька, кальцита, доломита, пироаурита, амакинита, брусита, кварца, гипса, галита и ангидрита в основной массе кимберлитов рассмотрено, насколько часто минерал встречается в каждом из рассмотренных алмазных месторождений, для чего получено относительное количество зарегистрированных индивидов в основной массе кимберлитов. Это позволяет судить о равномерности распределения конкретного минерала в породе. Средние содержания минералов и их ассоциации показывают степень распространения минерала, следовательно, и интенсивность процессов вторичных преобразований, способствующих его появлению.

В основной массе кимберлитов СП наиболее часто встречаются серпентин, кальцит, доломит, хлорит и слюда, в меньшей степени – пироаурит, брусит, кварц, тальк и гипс (рис. 1). Такие минералы, как галит и ангидрит, значительно реже наблюдаются в основной массе изученных пород. Другие вторичные минералы кимберлитов встречаются в основной массе кимберлитов в единичных случаях и не рассматриваются в данной работе.

В целом наибольшее разнообразие вторичных минералов наблюдается в трубках Мирнинского (МКП) и Накынского (НКП) полей и трубке Удачная Далдынского поля (ДКП). Кроме свойственных кимберлитам серпентинов, кальцита, доломита, хлорита, слюды, пироаурита и брусита, в основной массе кимберлитов трубок этих полей присутствуют кварц, галит, гипс, тальк, ангидрит и амакинит. Это свидетельствует о проявлении более многообразных пневматолитово-гидротермальных процессов вторичного преобразования кимберлитовых пород указанных полей. Среди всех кимберлитовых месторождений СП трубка Нюрбинская (НКП) характеризуется наиболее равномерным развитием основных вторичных минералов. Неравномерность распределения серпентинов связана со многими факторами: неоднородностью псевдоморфных замещений серпентина и состава кимберлитовых тел, трещиноватостью пород, характером вторичных процессов, количеством ксенолитов мантийных ультраосновных пород, которые, как и кимберлит, серпентинизируются одинаково.

Большинство кимберлитовых месторождений Сибирской платформы, за исключением трубок

Ботуобинская и Нюрбинская (НКП) и трубки Айхал Алакит-Мархинского поля (АМКП), сходны между собой по распределению и среднему содержанию серпентинов (за исключением трубок Ботуобинская и Нюрбинская (НКП) и трубки Айхал Алакит-Мархинского поля (АМКП)). Наибольшее число участков в кимберлитовом теле, где отсутствует серпентин, наблюдается в трубках Ботуобинская и Нюрбинская, а для трубки Айхал отмечается самое низкое его среднее содержание – 11 % по сравнению с другими месторождениями. Трубки Верхне-Мунского кимберлитового поля (ВМКП) отличаются равномерным распределением серпентина, который фиксируется в 100 % всех рассмотренных образцов, и наибольшими величинами средних содержаний 30–57 %. Однородность статистических характеристик серпентина в трубках ДКП нарушается месторождениями Зарница и Удачная, где развитие минерала выражено менее интенсивно по сравнению с другими кимберлитовыми телами этого поля. В соответствии с относительным количеством образцов, содержащих серпентин, и его средними содержаниями в основной массе кимберлитов Якутии можно предположить, что в целом процессы серпентинизации в различных трубках имеют схожий характер, однако наибольшей неравномерностью отличаются Нюрбинская и Ботуобинская, а наименьшей интенсивностью – трубка Айхал. Процессы развития кальцита в основной массе кимберлитов СП, согласно распределению и степени распространения минерала, сопоставимы с серпентинизацией. Но при этом наблюдаются некоторые отличия между различными алмазными месторождениями в распределении и средних содержаниях кальцита.

На распространение и интенсивность развития кальцита влияет количество ксенолитов в кимберлитах, вмещающие породы и интенсивность поступления в кимберлиты глубинных растворов, обогащенных Са и  $\text{CO}_2$ . Наиболее равномерно распределён кальцит в основной массе кимберлитов ДКП, где минерал встречается более, чем в 94 % изученных образцов. В основной массе кимберлитов трубок АМКП кальцит распределён также равномерно, но средние содержания его меньше, чем в упомянутых выше месторождениях. Для кимберлитовых алмазных месторождений МКП и НКП не характерен тот уровень в развитии кальцита, который свойственен трубкам АМКП и ДКП. Так, в основной массе кимберлитов трубки Интернациональная зафиксировано минимальное среднее

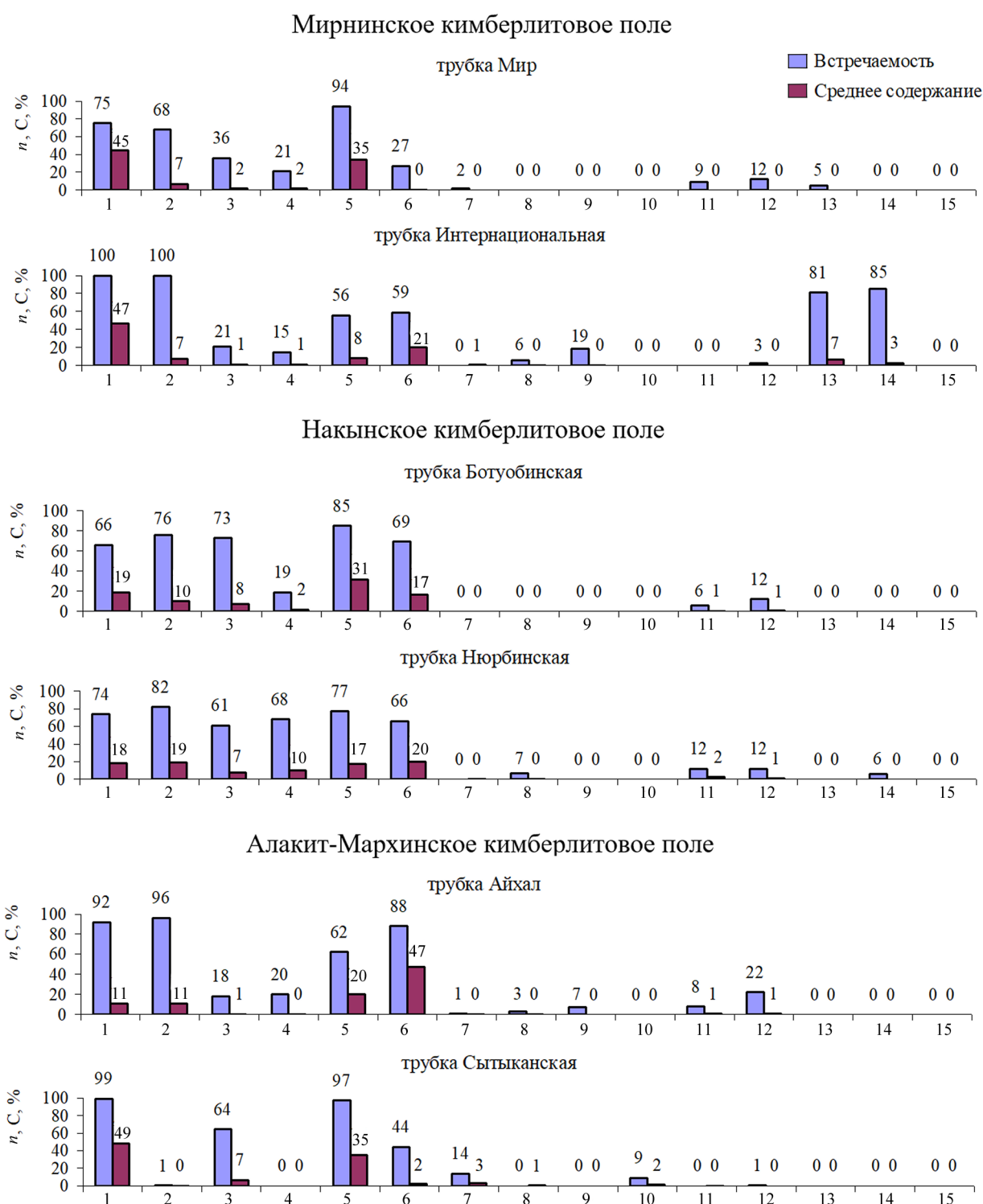
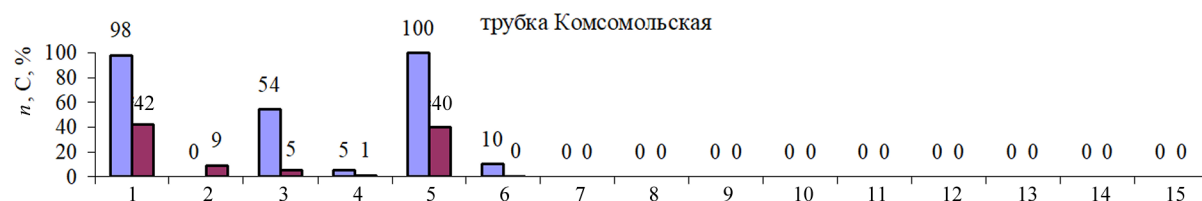
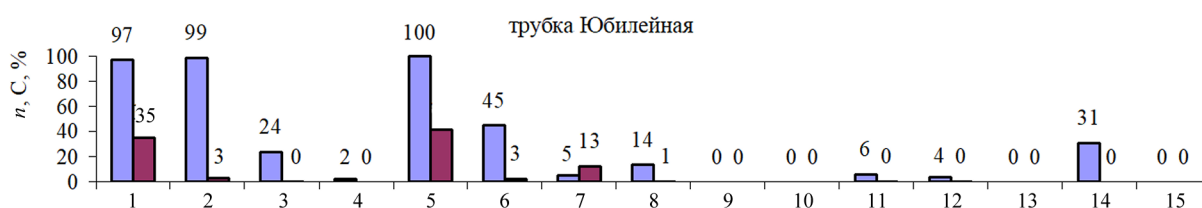


Рис. 1. Распределения и средние содержания преобладающих минералов основной массы кимберлитовых пород Якутии:

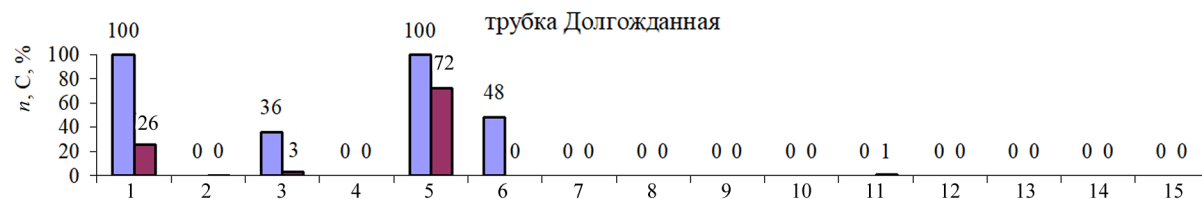
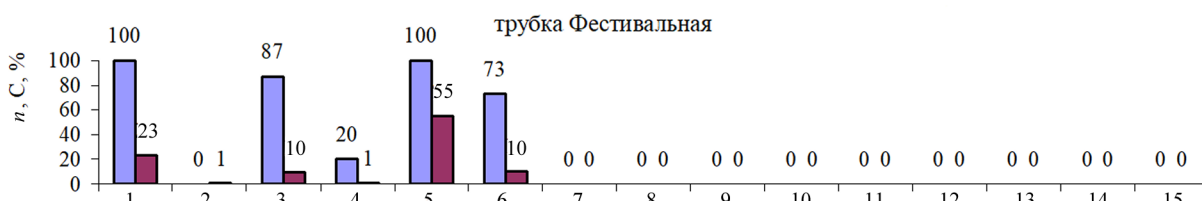
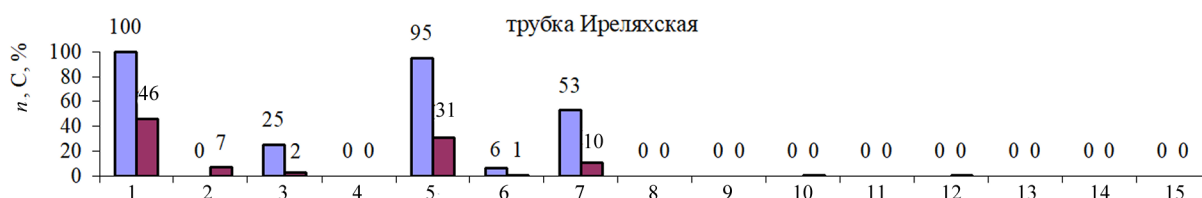
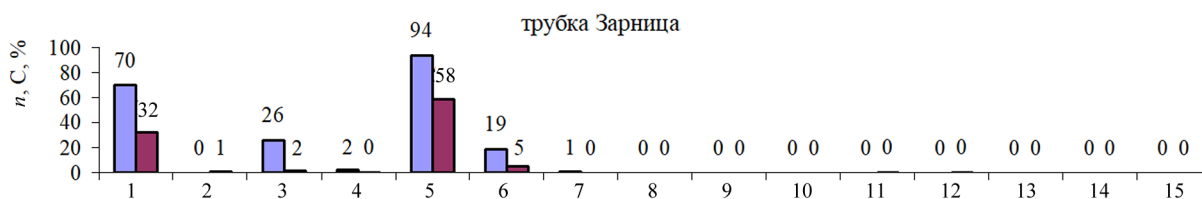
$n$  – число образцов, содержащих минерал;  $C$  – среднее содержание минерала; минералы: 1 – серпентин, 2 – слюда, 3 – хлорит, 4 – тальк, 5 – кальцит, 6 – доломит, 7 – пироаурит, 8 – магнетит, 9 – амакинит, 10 – брусит, 11 – кварц, 12 – гипс, 13 – галит, 14 – ангидрит, 15 – барит

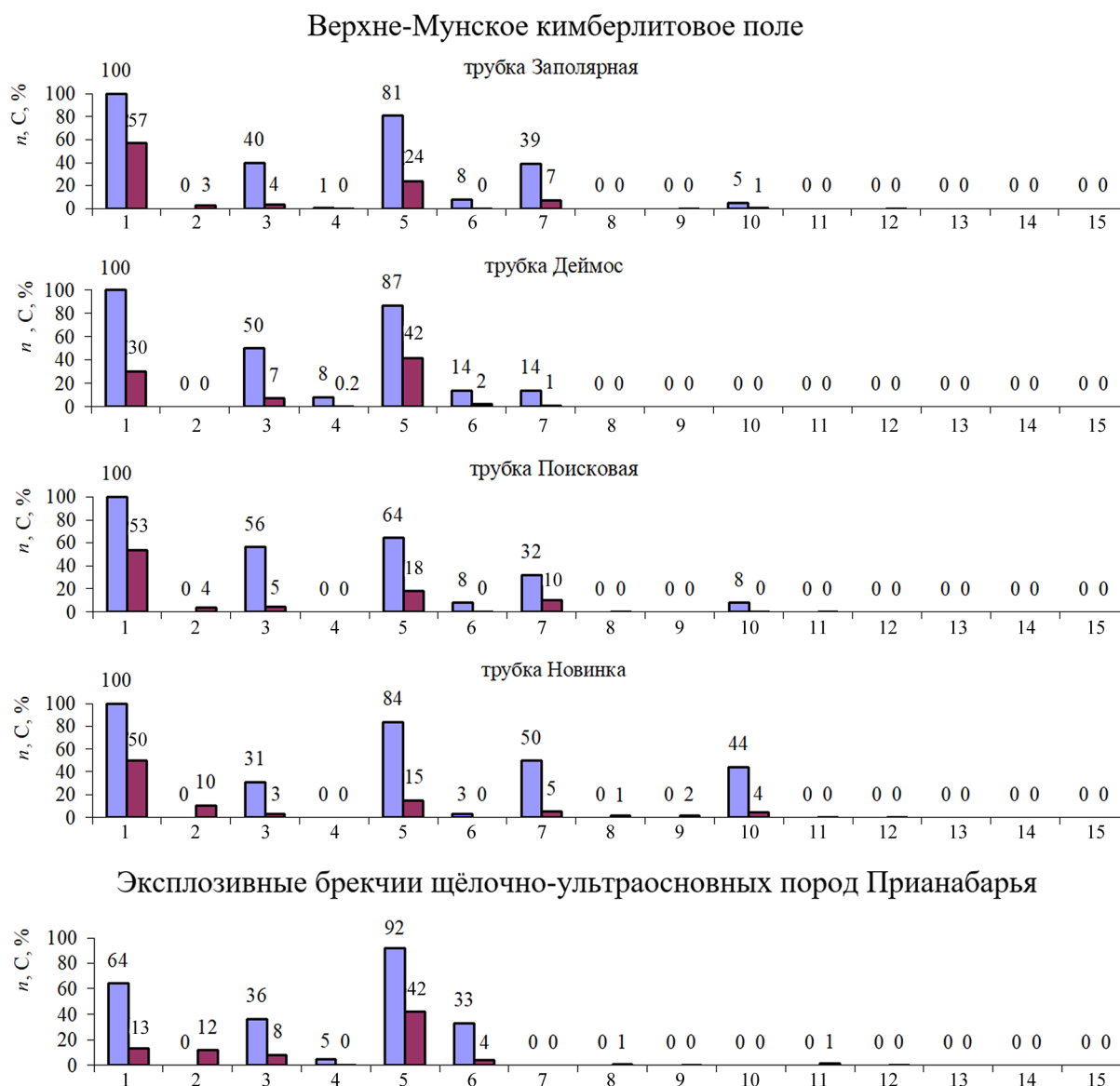
Продолжение рис. 1

Алакит-Мархинское кимберлитовое поле



Далдынское кимберлитовое поле





содержание (8 %) из всех месторождений СП, и, кроме того, минерал отмечен лишь в 56 % от общего числа рассмотренных образцов. В то же время для трубки Мир наблюдается несколько отличная картина по развитию кальцита, где отмечен в 94 % образцов, а среднее содержание составляет 34 %. Однородная картина развития кальцита, не имеющая резких отличительных свойств, по отношению к большинству коренных месторождений

СП отмечается в кимберлитовых породах ВМКП. Доломит в кимберлитах, как правило, ассоциирует с серпентинами и кальцитом. Его образование связывают с избытком магния, не израсходованного при образовании серпентина и других магниевых минералов [36–39]. Повышение концентрации минерала обычно наблюдается в приконтактных с вмещающими породами участках. Ещё более существенное различие между месторождениями

ми СП наблюдается по распределению и среднему содержанию доломита в основной массе кимберлитов. Наиболее интенсивно доломит развит в основной массе кимберлитов трубок Айхал, Нюрбинская и Ботуобинская. В трубках ВМКП доломит встречается реже и условные содержания его меньше по сравнению с коренными месторождениями алмазов других кимберлитовых полей. В то же время не зафиксировано таких кимберлитовых тел, где бы отсутствовал доломит. Даже в малых содержаниях этот карбонат периодически фиксируется во всех кимберлитовых породах СП. Анализ связи развития доломита и серпентина в основной массе кимберлитов показывает наличие обратной связи между средними содержаниями серпентина и кальцита в различных месторождениях СП (рис. 2). То есть для основной массы кимберлитов наблюдается тенденция к увеличению среднего содержания доломита при уменьшении количества серпентина, что согласуется с ранее проведёнными исследованиями [11, 12, 16, 20, 21].

Пироаурит хотя и является характерным минералом основной массы кимберлитов, распределение его в кимберлитовых телах имеет неравномерный характер. Интенсивное формирование минерала нередко происходит в отдельных участках кимберлитовых тел. Наибольшее его распространение и относительно высокие содержания наблюдаются в основной массе кимберлитов трубок ДКП и большинства коренных месторождений алмазов ВМКП. Для месторождений МКП и НКП этот минерал нехарактерен.

Образования, представленные флогопитом и хлоритом, относятся к наиболее часто встречаемым в кимберлитовых породах СП минералам, но распределены они в основной массе не столь равномерно, как серпентин и кальцит. Средние содержания флогопитов изменяются от 0 (трубки Долгожданная и Деймос) до 19 % (трубка Нюрбинская), а у хлоритов – от 1 (трубка Интернациональная) до 10 % (трубка Фестивальная). Наиболее равномерно флогопит распределён в основной массе кимберлитов трубок МКП, НКП и АМКП. Неоднородность распределения флогопита и хлорита свойственна большинству кимберлитовых пород ВМКП и ДКП, из которых трубки Зарница и Долгожданная выделяются чрезвычайно слабым развитием хлорита при практическом отсутствии флогопита. В целом кимберлитовые породы, где отсутствует хлорит, не зафиксированы. Наиболее хлоритизированы кимберлитовые породы трубок

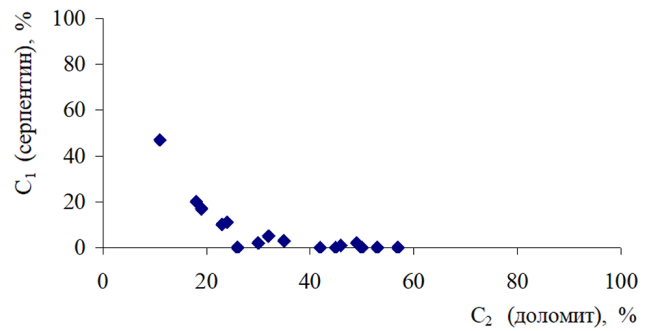


Рис. 2. Средние содержания серпентина и доломита в основной массе кимберлитов различных месторождений Сибирской платформы:

$C_1$  и  $C_2$  – средние содержания серпентина и доломита соответственно

Нюрбинская, Ботуобинская, Фестивальная, Сытыканская Деймос, но в двух последних хлорит распределён менее неравномерно (см. рисунки 1 и 3).

Исходя из числа встречающихся в основной массе слюдястых образований и их средних содержаний, следует считать, что большая часть флогопитов, входящих в состав основной массы кимберлитов трубок Нюрбинская и Ботуобинская, хлоритизирована. Для большинства трубок АМКП, ДКП и ВМКП свойственна хлоритизация слюд, которая наиболее интенсивно протекала в трубках Сытыканская, Фестивальная и Деймос, в результате чего произошла полная трансформация слюд в хлорит.

К минералам, довольно часто встречающимся в кимберлитах, но содержащимся в небольших количествах, следует отнести тальк. Минерал может возникать при сравнительно небольшом парциальном давлении  $CO_2$  во флюиде при определённых соотношениях  $MgO:CaO:SiO_2$  [11, 14, 22]. Единственным месторождением кимберлитов СП, где наблюдаются наиболее интенсивные процессы формирования талька, является трубка Нюрбинская. Такие минералы, как амакинит, брусит, кварц, гипс, галит, ангидрит и барит, не имеют устойчивых тенденций к распространению в основной массе кимберлитов различных трубок и полей. Исключением является брусит, наиболее интенсивное образование которого приурочено к трубкам ВМКП и ДКП, особенно сильно протекающее в месторож-

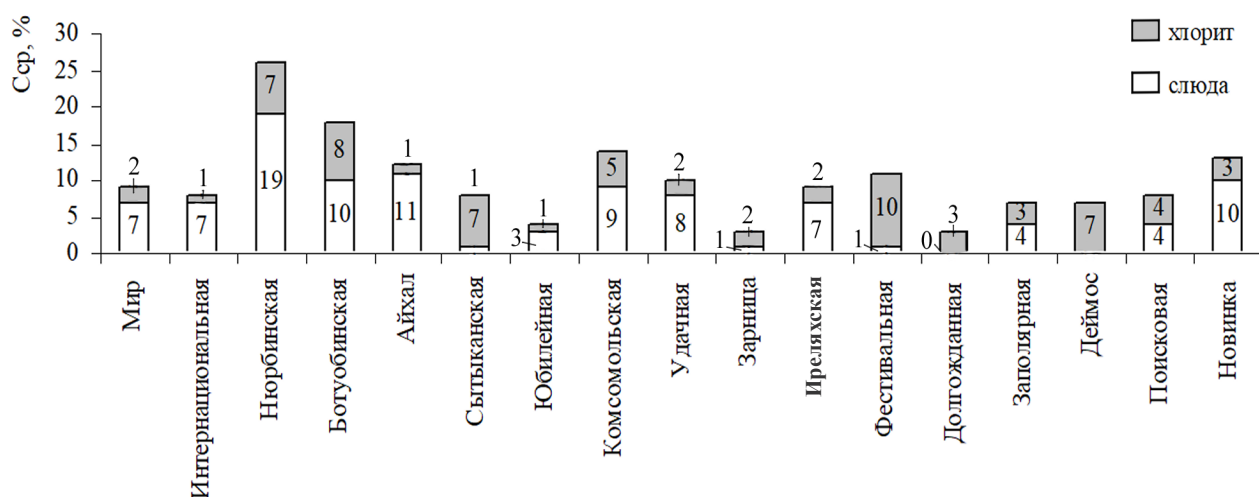


Рис. 3. Средние содержания флюоропита и хлорита в кимберлитовых породах Сибирской платформы

дениях Новинка, Поисковая и Удачная. Брусит в кимберлитах возникает как при серпентинизации породы, так и в результате воздействия гидротермально-метасоматических растворов на заключительных этапах постмагматической переработки кимберлитов [30–33].

Сравнить различные месторождения при всём многообразии развития вторичных минералов позволит рассмотрение минеральных ассоциаций, полученных по средним содержаниям минералов в основной массе кимберлитовых пород СП. Анализ полученных ассоциаций позволил детализировать их и выделить 11 типов (см. таблицу). Наиболее распространёнными являются следующие ассоциации: хлорит-серпентин, тальк-серпентин и пирроаурит-серпентин. При этом средние содержания хлорита, пирроаурита и талька не превышают 13 %. Эти ассоциации формируются практически во всех кимберлитовых породах СП, независимо от продуктивности и принадлежности к полям, в отличие от карбонат-серпентиновых.

Кальцит-серпентиновая с примесью доломита ассоциация фиксируется во всех коренных месторождениях алмазов СП, в то время как серпентин-кальцитовая с примесью доломита свойственна только трубкам ДКП и ВМКП. Для этих территорий характерно интенсивное развитие брусит-серпентиновой ассоциации, наиболее интенсивно развитой в трубке Новинка. Для трубок МКП, НКП

и АМКП наблюдается широкий набор карбонат-серпентиновых ассоциаций, в отличие от ДКП и ВМКП, где он более однороден. Наблюдается тенденция к преимущественному развитию некоторых типов карбонат-серпентиновых ассоциаций в кимберлитовых трубках определённой продуктивности. Так, промышленные месторождения алмазов имеют широкий набор серпентин-карбонатных ассоциаций за исключением серпентин-кальцитовой с примесью доломита, что отличает их от непромышленных, где последняя преобладает (см. таблицу). Все среднеалмазоносные месторождения имеют кальцит-серпентиновую с примесью доломита ассоциацию. Рассмотрение преобладающих ассоциаций в различных типах пород трубки Ботуобинская показало последовательное уменьшение доли серпентина и возрастание кальцита и доломита при переходе от порфировых кимберлитов к автолитовым кимберлитовым брекчиям и далее к кимберлитовым туфобрекчиям (см. таблицу).

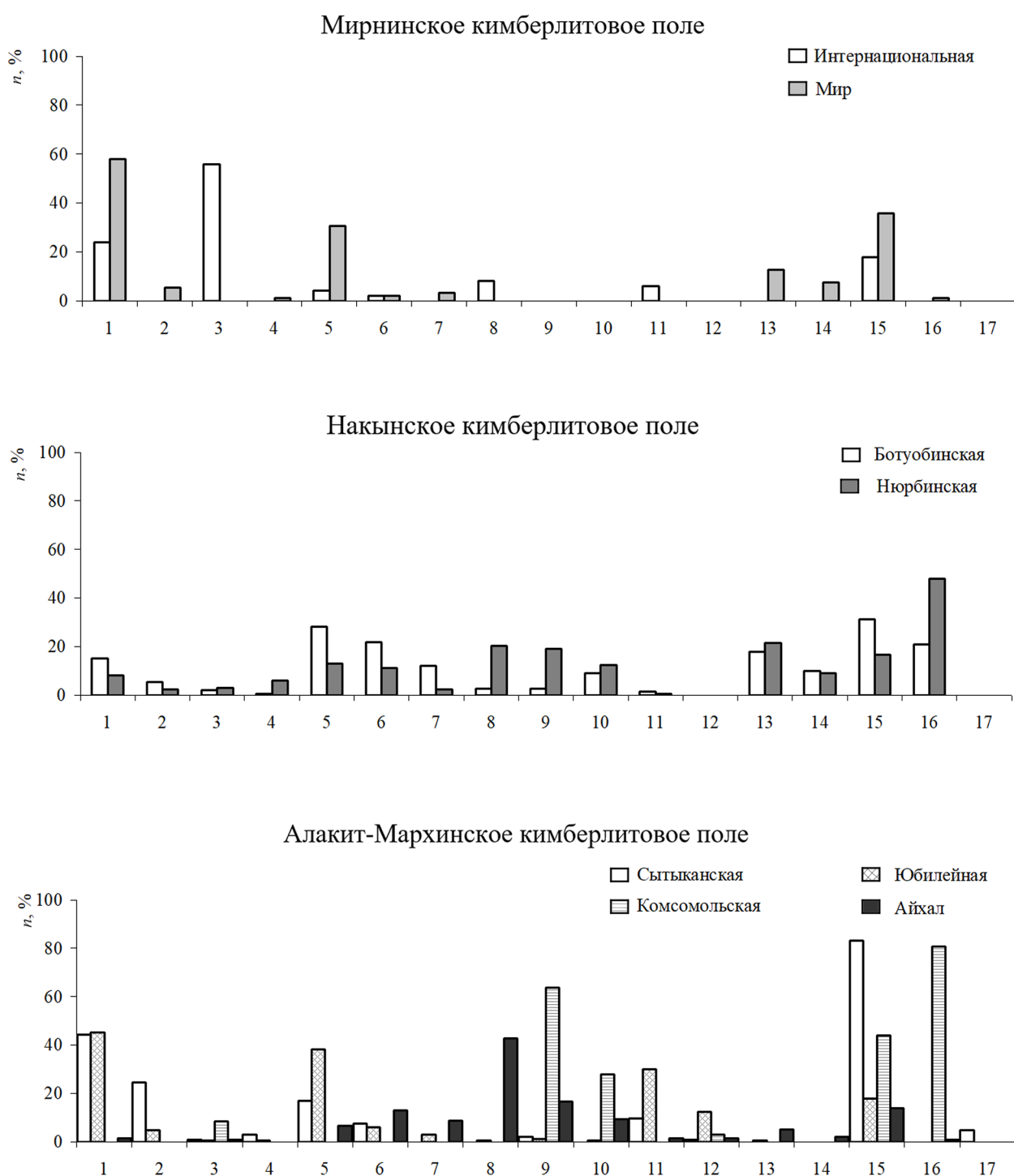
Для трубок Заполярная и Айхал различия по набору ассоциаций между порфировыми кимберлитами и автолитовыми кимберлитовыми брекчиями не установлены. В непромышленных месторождениях наблюдается преобладание серпентин-кальцитовых с примесью доломита ассоциаций вторичных минералов.

Для более детального исследования интенсивности развития вторичных минералов в основной

Таблица. Ассоциации вторичных минералов основной массы кимберлитов Западной Якутии (согласно средним условным содержаниям)

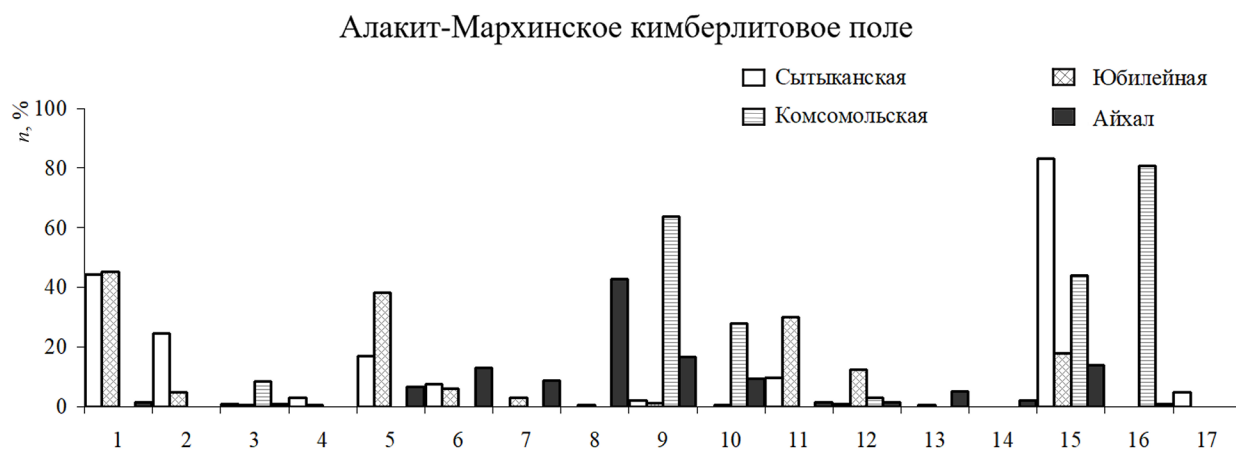
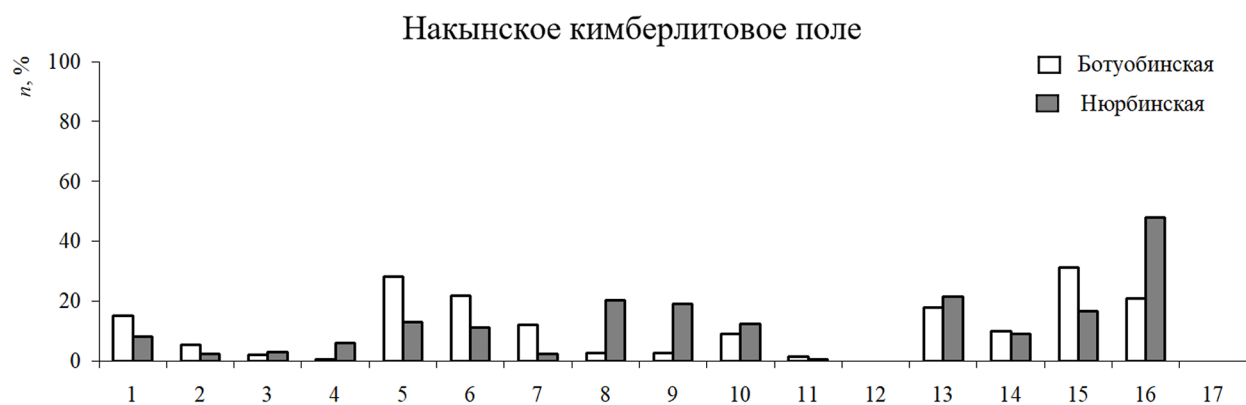
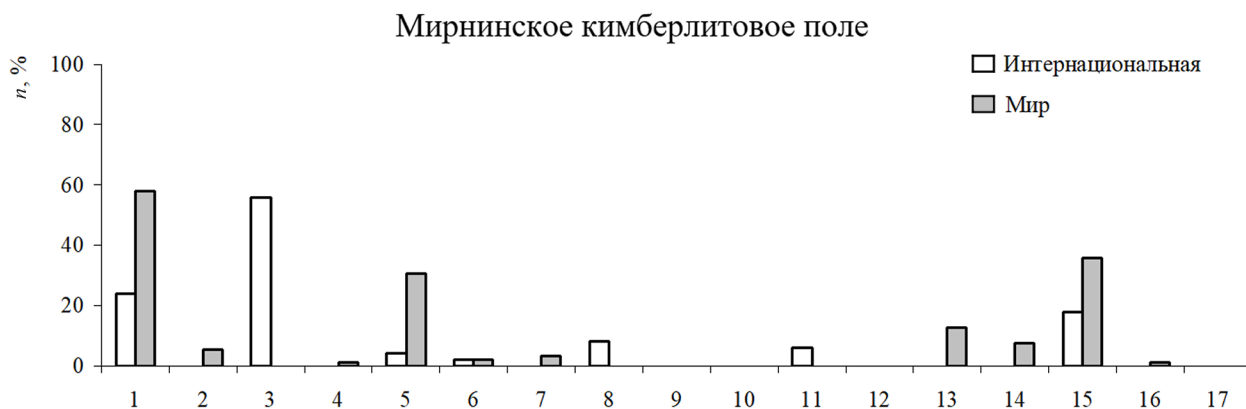
Продуктивность	Кимберлитовые трубки	Ассоциации вторичных минералов										
		Кальцит-серпентин-доломит	Кальцит-серпентин с примесью доломита	Кальцит-доломит-серпентин	Серпентин-кальцит-доломит	Серпентин-кальцит с примесью доломита	Доломит-серпентин-кальцит	Доломит-кальцит-серпентин	Пироаурит-серпентин	Тальк-серпентин	Хлорит-серпентин	Брусит-серпентин
Высокоалмазные	Айхал				+				+	+	+	
	Айхал (ПК)				+				+	+	+	
	Айхал (АКБ)				+							
	Интернациональная			+					+	+	+	
	Удачная (АКБ)						+		+	+	+	
	Мир		+							+	+	
	Ботуобинская						+		+	+	+	
	Ботуобинская (ПК)							+		+	+	
	Ботуобинская (АКБ)						+		+	+	+	
	Ботуобинская (КТБ)				+					+	+	
Нюрбинская (АКБ)	+								+	+		
Среднеалмазные	Сатыканская		+						+		+	+
	Юбилейная		+							+	+	
	Комсомольская		+							+	+	
	Иреляхская		+						+		+	
	Новинка		+						+		+	+
	Заполярная		+						+	+	+	+
	Заполярная (ПК)		+						+	+	+	+
	Заполярная (АКБ)		+						+		+	+
Непромышленные	Зарница					+			+	+	+	
	Фестивальная					+				+	+	
	Долгожданная					+					+	
	Деймос					+			+	+	+	
	Поисковая		+						+		+	+
	Анабар					+				+	+	

Примечание. ПК – порфировые кимберлиты, АКБ – автолитовые кимберлитовые брекчии, КТБ – кимберлитовые туфобрекчии (по данным Н. С. Занкович, Е. В. Тарских, Г. В. Колесникова, А. С. Фомина из ЯНИГП ЦНИГРИ).



**Рис. 4. Распределение ассоциаций преобладающих минералов в основной массе кимберлитовых пород Якутии:**  
 1 – кальцит-серпентин, 2 – доломит-кальцит-серпентин, 3 – доломит-серпентин, 4 – кальцит-доломит-серпентин, 5 – серпентин-кальцит, 6 – доломит-серпентин-кальцит, 7 – серпентин-доломит-кальцит, 8 – серпентин-доломит, 9 – кальцит-серпентин-доломит, 10 – серпентин-кальцит-доломит, 11 – пироаурит-серпентин, 12 – серпентин-пироаурит, 13 – тальк-серпентин, 14 – серпентин-тальк, 15 – хлорит-серпентин, 16 – серпентин-хлорит, 17 – серпентин-брусит

Окончание рис. 4



массе кимберлитов рассмотрены 17 ассоциаций, представленных серпентином, кальцитом, доломитом, пироауритом, хлоритом и бруситом. Анализ различных ассоциаций, из которых серпентин + кальцит являются парагенетическими, показал, что к общим свойствам всех месторождений Якутии следует отнести преобладание ассоциаций кальцит-серпентин, серпентин-кальцит и хлорит-серпентин (рис. 4). Другие ассоциации вторичных минералов не имеют столь выраженной стабильности по степени распространения в основной массе кимберлитов по сравнению с предыдущими. В кимберлитах трубки Нюрбинская НКП наблюдается тенденция к возрастанию доломитовой компоненты по сравнению с трубкой Ботубинская. В основной массе кимберлитов ВМКП не зафиксированы ассоциации с преобладанием доломита. Эксплозивные брекчии щёлочно-ультраосновных пород Прианабарья выделяются относительно небольшим набором ассоциаций по сравнению с кимберлитовыми породами Сибирской платформы.

Сравнение ассоциаций из кимберлитовых пород разной продуктивности показывает, что их качественное разнообразие уменьшается при переходе от более к менее алмазоносным породам (рис. 5). Так, для высокопродуктивных кимберлитов трубок Айхал, Интернациональная, Удачная, Мир, Ботубинская и Нюрбинская наряду с наиболее распространёнными характерны также доломит-серпентин-кальцитовые и серпентин-доломит-кальцитовые и кальцит-серпентин-доломитовые ассоциации. В среднеалмазоносных трубках Сытыканская, Заполярная, Юбилейная, Новинка, Комсомольская, Иреляхская и Зарница предыдущие ассоциации менее проявлены. Для этих трубок характерно преобладание серпентина, что выражается в преимущественном распространении кальцит-серпентинных ассоциаций.

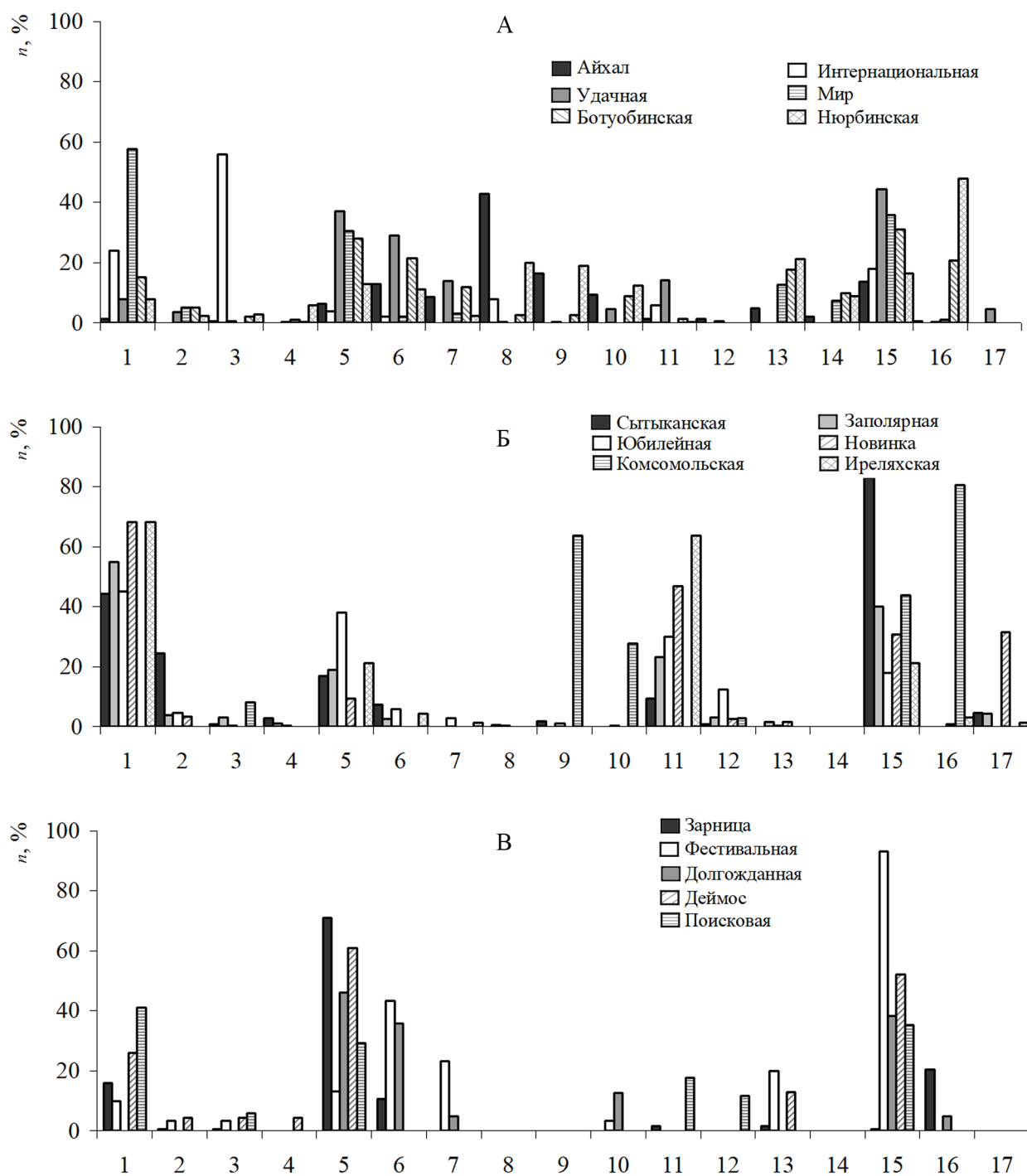
Такие ассоциации, как серпентин-доломит и кальцит-серпентин-доломит, отсутствуют в непродуктивных кимберлитовых телах Зарница, Фестивальная, Долгожданная, Деймос, Поисковая. В этих слабоалмазоносных коренных месторождениях более интенсивно развит кальцит, что привело к широкому распространению ассоциаций, где этот минерал преобладает. Характер распределения рассмотренных ассоциаций вторичных минералов в основной массе кимберлитов не противоречит данным, полученным с помощью средних содержаний минералов (см. таблицу). То есть ал-

мазоносные кимберлитовые породы СП характеризуются наличием широкого набора ассоциаций вторичных минералов, среди которых важную роль играет доломит и тальк. В среднеалмазоносных кимберлитовых породах степень распространения доломита снижается, а серпентина, напротив, возрастает, что отличает их от высоко- и слабоалмазоносных трубок. Для непродуктивных месторождений алмазов характерно относительно слабое развитие доломита и значительное – кальцита, что приводит к увеличению количества серпентин-кальцитовых ассоциаций.

Выявлено, что в пределах одного месторождения при переходе от порфировых кимберлитов к автолитовым кимберлитовым брекчиям и далее к кимберлитовым туфобрекчиям количество ассоциаций, где преобладает серпентин, уменьшается, а где доминируют кальцит и доломит – увеличивается (рис. 6). В порфировых кимберлитах преобладают кальцит-серпентинные ассоциации, в то время в автолитовых кимберлитовых брекчиях их количество снижается и возрастает число серпентин-кальцитовых и доломит-серпентин-кальцитовых ассоциаций. Так, для трубки Ботубинская в порфировых кимберлитах фиксируются ассоциации с преобладанием серпентиновой составляющей (см. рис. 6). В автолитовых кимберлитовых брекчиях они сменяются на ассоциации с преобладанием кальцитовой, а в кимберлитовых туфобрекчиях – доломитовой составляющих. Кроме того, в автолитовых кимберлитовых брекчиях и кимберлитовых туфобрекчиях развиты тальк-серпентинные ассоциации, отсутствующие в порфировых кимберлитах.

Порфировые кимберлиты и автолитовые кимберлитовые брекчии трубки Айхал имеют подобный характер распределения ассоциаций, но в последнем типе пород увеличивается число серпентин-доломит-кальцитовых и серпентин-доломитовых и хлорит-серпентинных ассоциаций. Для трубки Заполярная, также как и для трубки Айхал, общая тенденция в распределении ассоциаций, характерная в целом для месторождения, не нарушается ни в порфировых кимберлитах, ни в автолитовых кимберлитовых брекчиях.

**Заключение.** Таким образом, в результате выполненных исследований сформулированы основные диагностические признаки наиболее перспективных для поисковых целей флогопитов, хлоритов и серпентинов, для определения которых разработан оптимальный комплекс методов. Развитие



**Рис. 5. Распределение ассоциаций преобладающих минералов кимберлитов в кимберлитовых породах разной продуктивности:**

А – высокоалмазоносные, Б – среднеалмазоносные, В – непромышленные кимберлитовые трубки; см. услов. обозн. к рис. 4

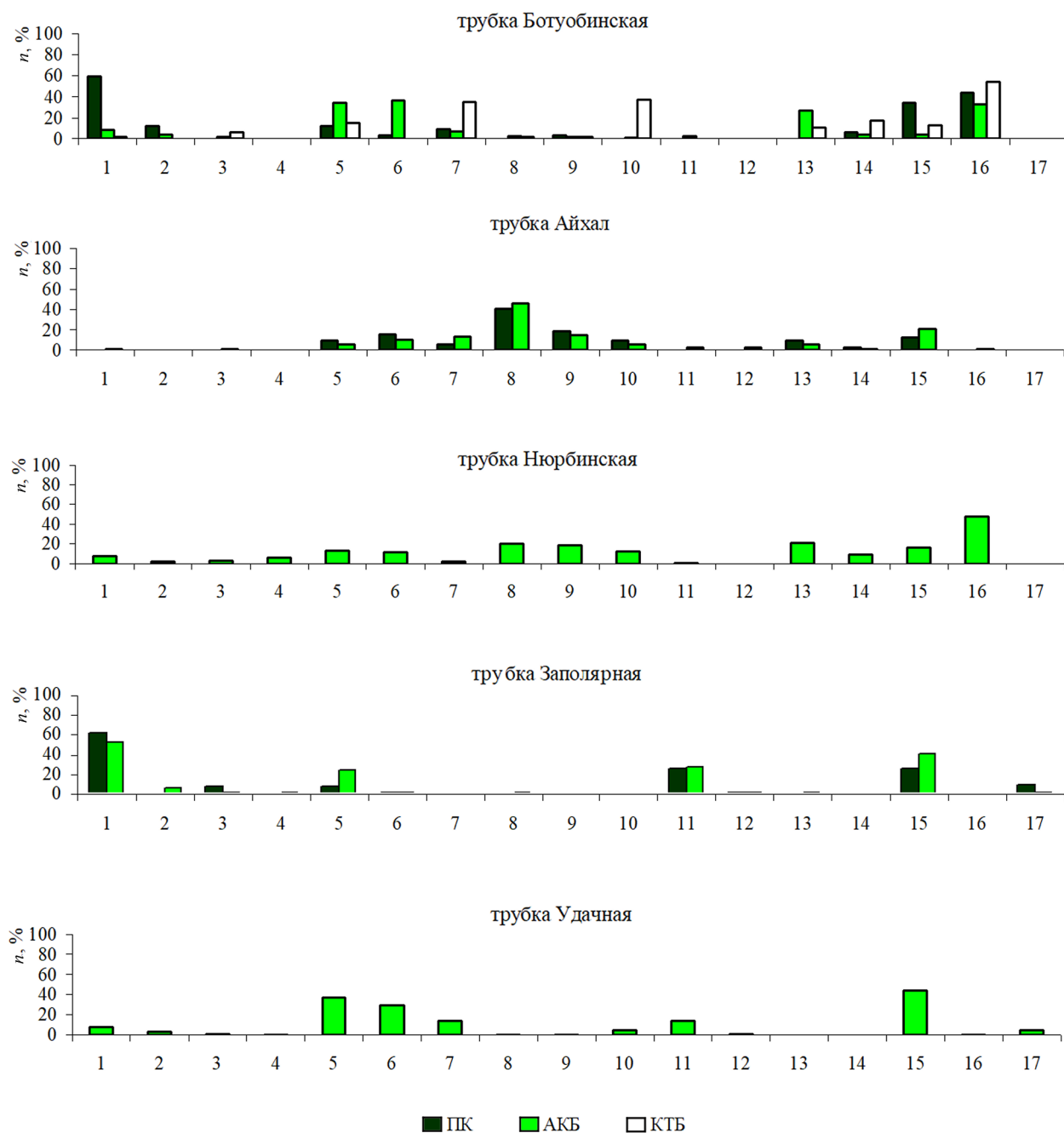


Рис. 6. Распределение ассоциаций вторичных минералов в различных типах кимберлитовых пород Якутии: ПК – порфиоровые кимберлиты, АКБ – автолитовые кимберлитовые брекчии, КТБ – кимберлитовые туфобрекчии; см. услов. обозн. к рис. 4

вторичных минералов и их ассоциаций в основной массе кимберлитов показало, что алмазные месторождения Сибирской платформы отличаются по степени и равномерности распространения карбонатов, флогопитов и хлоритов. Серпентиновые минералы в основной массе кимберлитов распределены наиболее равномерно, но их содержание в рассмотренных кимберлитовых телах различное. Несмотря на некоторые отличия, для большинства кимберлитовых пород СП типичными являются серпентин-кальцитовые, кальцит-серпентиновые, доломит-серпентин-кальцитовые и хлорит-серпентиновые ассоциации, которые встречаются во всех рассмотренных месторождениях СП. Изменения кимберлитовых пород сопровождаются перераспределением ассоциаций вторичных мине-

ралов, что выявлено при их рассмотрении в различных типах кимберлитовых пород трубок Ботуобинская, Айхал, Удачная, Иреляхская, Заполярная. В порфировых кимберлитах преобладают кальцит-серпентиновые ассоциации, количество которых в автолитовых кимберлитовых брекчиях снижается и одновременно возрастает число серпентин-кальцитовых, доломит-серпентин-кальцитовых, серпентин-хлоритовых и хлорит-серпентиновых ассоциаций, ещё более увеличивающееся в кимберлитовых туфобрекчиях. Установленные особенности минерального состава кимберлитов позволяют сравнивать их с обломками пород, обнаруженных в осадочных коллекторах, что будет способствовать повышению эффективности прогнозно-поисковых работ на алмазы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П., Елисейев А. П., Надолинный В. А., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Рылов Г. М., Томиленко А. А., Горяинов С. В., Юрьева О. П., Сонин В. М., Чепуров А. И.* Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов V и VII разновидностей (по классификации Ю. Л. Орлова) // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2000. – № 5. – С. 79–97.
2. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н.* Минерагения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. – 1987. – № 1. – С. 90–96.
3. *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.
4. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Харьков А. Д., Соколов В. Н.* Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород // Минерагения зоны гипергенеза. – М. : ИГЕМ АН СССР. – 1980. – С. 45–54.
5. *Афанасьев В. П., Похиленко Н. П., Логвинова А. М., Зинчук Н. Н., Ефимова Э. С., Сафьянников В. И., Красавчиков В. О., Подгорных М. 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.
6. *Бардухинов Л. Д., Зинчук Н. Н.* Алмазы из древних осадочных толщ и их поставщики (на примере Якутской кимберлитовой провинции) // Руды и металлы. – 2022. – № 2. – С. 65–86.
7. *Василенко В. Б., Зинчук Н. Н., Кузнецова Л. Г.* Геодинамический контроль размещения кимберлитовых полей центральной и северной частей Якутской кимберлитовой провинции (петрохимический аспект) // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2000. – № 3. – С. 37–55.
8. *Василенко В. Б., Кузнецова Л. Г., Зинчук Н. Н.* Петрохимическая фактография кимберлитовой провинции Восточной Сибири. – Новосибирск : Параллель. – 2019. – 754 с.
9. *Гладков А. С., Борняков С. А., Манаков А. В., Матросов В. А.* Тектонофизические исследования при алмазопроисковых работах : Методическое пособие. – М. : Научный мир, 2008. – 175 с.
10. *Дукардт Ю. А., Борис Е. И.* Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. – Воронеж : ВГУ, 2000. – 161 с.
11. *Зинчук Н. Н.* О некоторых особенностях региональной поисковой алмазной минералогии // Вестник Пермского государственного университета. Геология. – 2024. – Т. 23, № 2. – С. 152–172.
12. *Зинчук Н. Н.* Об использовании гипергенных образований кимберлитов при алмазопроисковых работах // Отечественная геология. – 2020. – № 2. – С. 62–80.
13. *Зинчук Н. Н.* Об особенностях изучения постмагматических и гипергенных изменений кимберли-

- товых пород // Вестник Воронежского университета. – Геология. – 2017. – № 2. – С. 59–68.
14. *Зинчук Н. Н.* Об особенностях некоторых индикаторных минералов кимберлитовых пород // Вестник Пермского государственного университета. Геология. – 2024. – Т. 23, № 4. – С. 352–376.
  15. *Зинчук Н. Н.* Основные черты гипергенного изменения пород различного состава пород различного состава // Вестник Пермского университета. Геология. – 2014. – № 3 (24). – С. 19–29.
  16. *Зинчук Н. Н.* Особенности гидротермального и гипергенного изменения слюдястых кимберлитов // Вестник Пермского университета. Геология. – 2023. – Т. 22, № 1. – С. 32–50.
  17. *Зинчук Н. Н.* Особенности гипергенного изменения кимберлитов и проблема поисков коренных месторождений алмазов. Коры выветривания на кимберлитах Африканской платформы // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2015. – Т. 90, вып. 6. – С. 58–70.
  18. *Зинчук Н. Н.* Особенности гипергенного изменения кимберлитов и проблема поисков коренных месторождений алмазов. Коры выветривания на кимберлитах Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2015. – Т. 90, вып. 5. – С. 28–40.
  19. *Зинчук Н. Н.* Особенности использования глинистых минералов при алмазопоисковых работах // Руды и металлы. – 2016. – № 2. – С. 34–43.
  20. *Зинчук Н. Н.* Особенности литолого-минералогических исследований при алмазопоисковых работах на Сибирской платформе // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. – 2018. – Т. 93, вып. 1. – С. 91–102.
  21. *Зинчук Н. Н.* Особенности распространения и генезиса некоторых карбонатных минералов в кимберлитовых породах (на примере Сибирской платформы) // Отечественная геология. – 2023. – № 6. – С. 62–77.
  22. *Зинчук Н. Н.* Особенности состава основной массы кимберлитов // Отечественная геология. – 2025. – № 1. – С. 79–103.
  23. *Зинчук Н. Н.* Особенности структурно-формационного формирования верхнепалеозойских алмазоносных отложений // Отечественная геология. – 2015. – № 6. – С. 41–51.
  24. *Зинчук Н. Н.* Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
  25. *Зинчук Н. Н., Афанасьев В. П.* Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1998. – № 2. – С. 66–71.
  26. *Зинчук Н. Н., Борис Е. И.* О концентрации продуктов переотложения кор выветривания в верхнепалеозойских осадочных толщах восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. – 1981. – № 8. – С. 22–29.
  27. *Зинчук Н. Н., Дукардт Ю. А., Борис Е. И.* Тектонические аспекты прогнозирования кимберлитовых полей. – Новосибирск : Сибтехнорезерв, 2004. – 166 с.
  28. *Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Борис Е. И., Липашова А. Н.* Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // Руды и металлы. – 1999. – № 3. – С. 18–31.
  29. *Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Горшков А. И.* Идентификация и генезис лизардит-сапонитового смешанослойного образования в кимберлитах одной из трубок Южной Африки // Литология и полезные ископаемые. – 2003. – № 1. – С. 87–96.
  30. *Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д., Соколов В. Н.* Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. – 1982. – № 2. – С. 42–53.
  31. *Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т.* Тектоника и алмазоносный магматизм. – Воронеж : изд-во ВГУ, 2004. – 282 с.
  32. *Игнатов П. А., Бушков К. Ю., Штейн Я. И.* [и др.] Геологические и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазоносные кимберлиты Накынского поля Якутии // Руды и металлы. – 2006. – № 4. – С. 59–67.
  33. *Кедрова Т. В., Богуш И. Н., Зинчук Н. Н., Бардухинов Л. Д., Липашова А. Н., Афанасьев В. П.* Россыпи алмазов Накынского кимберлитового поля // Геология и геофизика. – 2022. – Т. 63, № 3. – С. 291–302.
  34. *Коптиль В. И.* Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений : специальность 04.00.20 «Минералогия, кристаллография» : автореф. дис. на соискание учёного степеней. канд. геол.-минерал. Наук / Василий Иванович Коптиль. – Новосибирск : ИГМ СО РАН, 1994. – 25 с.
  35. *Котельников Д. Д., Домбровская Ж. В., Зинчук Н. Н.* Основные закономерности выветривания силикатных пород различного химического и минералогического типа // Литология и полезные ископаемые. – 1995. – № 6. – С. 594–601.
  36. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Геологическая интерпретация результатов изучения глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. – 2001. – № 12. – С. 45–51.
  37. *Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н.* Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глини-

стных минералов при погружении содержащих их отложений в стратиферу // Вестник Воронежского государственного университета. Серия геология. – 2003. – № 2. – С. 57–68.

38. Розен О. М., Левский Л. К., Журавлёв Д. З., Спецус З. В., Макеев А. Ф., Зинчук Н. Н., Манаков А. В., Серенко В. П. Состав и возраст земной коры северо-востока Сибирской платформы: изучение ксенолитов в кимберлитах и кернов глубоких скважин // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2006. – № 4. – С. 18–28.
39. Савко А. Д., Зинчук Н. Н., Шевырёв Л. Т. [и др.] Алмазонасность Воронежской антеклизы // Труды НИИГ Воронежского ун-та. – 2003. – Т. 17. – 121 с.

## REFERENCES

1. Afanasyev V. P., Eliseev A. P., Nadolinny V. A., Zinchuk N. N., Koptil V. I., Rylov G. M., Tomilenko A. A., Goryainov S. V., Yuryeva O. P., Sonin V. M., Chepurov A. I. Mineralogiya i nekotoryye voprosy genezisaalmazov V i VII raznovidnostey (po klassifikatsii Yu. L. Orlova) [Mineralogy and some questions of the genesis of diamonds of types V and VII (according to the classification of Yu. L. Orlov)], Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya, 2000, No. 5, pp. 79–97. (In Russ.)
2. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N. Minerageniya drevnikh rossypeyalmazov vostochnogo borta Tungusskoy sineklizy [Minerageny of ancient diamond placers on the eastern side of the Tunguska syneclise], Geology and geophysics, 1987, No. 1, pp. 90–96.
3. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N. Osnovnyye litodinamicheskiye tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberritov i obstanovki ikh formirovaniya [Main lithodynamic types of halos of indicator minerals in kimberlites and their formation environments], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 1999, V. 41, No. 3, pp. 281–288.
4. Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Kharkiv A. D., Sokolov V. N. Zakonomernosti izmeneniya mantiynykh mineralov v kore vyvetrivaniya kimberritovykh porod [Regularities of changes in mantle minerals in the weathering crust of kimberlite rocks], Minerageniya zony gipergeneza, Moscow, IGEM AN SSSR publ., 1980, pp. 45–54. (In Russ.)
5. Afanasyev V. P., Pokhilenko N. P., Logvinova A. M., Zinchuk N. N., Efimova E. S., Safyannikov V. I., Krasavchikov V. O., Podgornyykh M. M., Prugov V. P. Features of the morphology and composition of some chrome spinels from diamond-bearing areas in connection with the problem of “false” kimberlite indicators [Features of the morphology and composition

40. Харьков А. Д., Квасница В. Н., Сафронов А. Ф., Зинчук Н. Н. Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов. – Киев : Наукова думка, 1989. – 183 с.
41. Ashchepkov I. V., Vladykin N. N., Ntaflos T. [et al.] Layering of the lithospheric mantle beneath the Siberian Craton modeling using thermobarometry of mantle xenolith and xenocrysts // Tectonophysics. – 2014. – V. 634. – P. 55–75.
42. Rosen O. M., Serenko V. P., Spetsius Z. V. [et al.] Yakutian kimberlite province: Position in the Siberian craton and composition of the upper and lower crust // Geologiya and Geofizika. – 2002. – V. 43, № 1. – P. 3–26.

of some chrome spinels from diamond-bearing areas in connection with the problem of “false” kimberlite indicators], Geologiya i geofizika, 2000, V. 41, No. 12, pp. 1729–1741. (In Russ.)

6. Bardukhinov L. D., Zinchuk N. N. Almazы iz drevnikh osadochnykh tolshch i ikh postavshchiki (na primere Yakutskoy kimberritovoy provintsii) [Diamonds from ancient sedimentary strata and their suppliers (using the example of the Yakut kimberlite province)], Rudy i metally [Ores and metals], 2022, No. 2, pp. 65–86. (In Russ.)
7. Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G. Geodinamicheskiy kontrol razmeshcheniya kimberritovykh poley tsentralnoy i severnoy chastey Yakutskoy kimberritovoy provintsii (petrokhimicheskiy aspekt) [Geodynamic control of the placement of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakut kimberlite province (petrochemical aspect)], Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya, 2000, No. 3, pp. 37–55. (In Russ.)
8. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Zinchuk N. N. Petrokhimicheskaya faktografiya kimberritovoy provintsii Vostochnoy Sibiri [Petrochemical factography of the kimberlite province of Eastern Siberia], Novosibirsk, Parallel publ., 2019, 754 p. (In Russ.)
9. Gladkov A. S., Borneyakov S. A., Manakov A. V., Matrosov V. A. Tektonofizicheskiye issledovaniya pri almazoposkovykh rabotakh : Metodicheskoye posobiye [ectonophysical studies during diamond prospecting: Methodological manual], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2008, 175 p. (In Russ.)
10. Dukardt Yu. A., Boris Ye. I. Avlakogenez i kimberritovyy magmatizm [Aulacogenesis and kimberlite magmatism], Voronezh, VGU publ., 2000, 161 p. (In Russ.)
11. Zinchuk N. N. O nekotorykh osobennostyakh regionalnoy poiskovoy almaznoy mineralogii [On some features of regional diamond prospecting mineralogy], Vestnik Permskogo gosuniversiteta. Geologiya, 2024, V. 23, No. 2, pp. 152–172. (In Russ.)

12. *Zinchuk N. N.* Ob ispolzovanii gipergennykh obrazovaniy kimberlitov pri almazoposkovykh rabotakh [On the use of hypergene kimberlite formations in diamond prospecting operations], *Otechestvennaya geologiya*, 2020, No. 2, pp. 62–80. (In Russ.)
13. *Zinchuk N. N.* Ob osobennostyakh izucheniya postmagmaticheskikh i gipergennykh izmeneniy kimberlitovykh porod [On the features of the study of postmagmatic and hypergene changes in kimberlite rocks], *Vestnik Voronezhskogo universiteta, Geologiya*, 2017, No. 2, pp. 59–68. (In Russ.)
14. *Zinchuk N. N.* Ob osobennostyakh nekotorykh indikatornykh mineralov kimberlitovykh porod [On the features of some indicator minerals of kimberlite rocks], *Vestnik Permskogo gosuniversiteta. Geologiya*, 2024, V. 23, No. 4, pp. 352–376. (In Russ.)
15. *Zinchuk N. N.* Osnovnyye cherty gipergennogo izmeneniya porod razlichnogo sostava porod razlichnogo soctava [Main features of hypergene alteration of rocks of different composition], *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 2014, No. 3 (24), pp. 19–29. (In Russ.)
16. *Zinchuk N. N.* Osobennosti gidrotermalnogo i gipergennogo izmeneniya slyudistykh kimberlitov [Features of hydrothermal and supergene alteration of mica kimberlites], *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 2023, V. 22, No. 1, pp. 32–50. (In Russ.)
17. *Zinchuk N. N.* Osobennosti gipergennogo izmeneniya kimberlitov i problema poiskov korennykh mestorozhdeniy almazov. Kory vyvetrivaniya na kimberlitakh Afrikskoy platformy [Features of hypergene alteration of kimberlites and the problem of searching for primary diamond deposits. Weathering crusts on kimberlites of the African platform], *Byulleten MOIP. Otdel. geolog.*, 2015, V. 90, Is. 6, pp. 58–70. (In Russ.)
18. *Zinchuk N. N.* Osobennosti gipergennogo izmeneniya kimberlitov i problema poiskov korennykh mestorozhdeniy almazov. Kory vyvetrivaniya na kimberlitakh Sibirskoy i Vostochno-Yevropeyskoy platformy [Features of hypergene alteration of kimberlites and the problem of searching for primary diamond deposits. Weathering crusts on kimberlites of the Siberian and East European platforms], *Byulleten MOIP. Otdel. geolog.*, 2015, V. 90, Is. 5, pp. 28–40. (In Russ.)
19. *Zinchuk N. N.* Osobennosti ispolzovaniya glinistykh mineralov pri almazoposkovykh rabotakh [Features of the use of clay minerals in diamond prospecting operations], *Rudy i metally*, 2016, No. 2, pp. 34–43. (In Russ.)
20. *Zinchuk N. N.* Osobennosti litologo-mineralogicheskikh issledovaniy pri almazoposkovykh rabotakh na Sibirskoy platforme [Features of lithological and mineralogical studies during diamond prospecting operations on the Siberian platform], *Byulleten MOIP. Otdel. geologicheskii*, 2018, V. 93, Is. 1, pp. 91–102. (In Russ.)
21. *Zinchuk N. N.* Osobennosti rasprostraneniya i genezisa nekotorykh karbonatnykh mineralov v kimberlitovykh porodakh (na primere Sibirskoy platformy) [Features of the distribution and genesis of some carbonate minerals in kimberlite rocks (using the Siberian platform as an example)], *Otechestvennaya geologiya*, 2023, No. 6, pp. 62–77. (In Russ.)
22. *Zinchuk N. N.* Osobennosti sostava osnovnoy massy kimberlitov [Features of the composition of the main mass of kimberlites], *Otechestvennaya geologiya*, 2025, No. 1, pp. 79–103. (In Russ.)
23. *Zinchuk N. N.* Osobennosti strukturno-formatsionnogo formirovaniya verkhnepaleozoyskikh almazonosnykh otlozheniy [Features of the structural-formational formation of Upper Paleozoic diamond-bearing deposits], *Otechestvennaya geologiya*, 2015, No. 6, pp. 41–51. (In Russ.)
24. *Zinchuk N. N.* Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoy i Vostochno-Yevropeyskoy platformy [Comparative characteristics of the material composition of the weathering crust of kimberlite rocks of the Siberian and East European platforms], *Geologiya i geofizika*, 1992, No. 7, pp. 99–109. (In Russ.)
25. *Zinchuk N. N., Afanasyev V. P.* Geneticheskiye tipy i osnovnyye zakonomernosti formirovaniya almazonosnykh rossypey [Genetic types and basic patterns of formation of diamond-bearing placers], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 1998, No. 2, pp. 66–71. (In Russ.)
26. *Zinchuk N. N., Boris Ye. I.* O kontsentratsii produktov pereotlozheniya kor vyvetrivaniya v verkhnepaleozoyskikh osadochnykh tolshchakh vostochnogo borta Tungusskoy sineklizy [On the concentration of products of redeposition of weathering crusts in the Upper Paleozoic sedimentary strata of the eastern side of the Tunguska syncline], *Geologiya i geofizika*, 1981, No. 8, pp. 22–29. (In Russ.)
27. *Zinchuk N. N., Dukardt Yu. A., Boris Ye. I.* Tektonicheskiye aspekty prognozirovaniya kimberlitovykh poley [Tectonic aspects of forecasting kimberlite fields], *Novosibirsk : Sibtekhrezerv publ.*, 2004, 166 p. (In Russ.)
28. *Zinchuk N. N., Koptil V. I., Boris Ye. I., Lipashova A. N.* Tipomorfizm almazov iz rossypey Sibirskoy platformy kak osnova poiskov almaznykh mestorozhdeniy [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as a basis for searching for diamond deposits], *Rudy i metally*, 1999, No. 3, pp. 18–31. (In Russ.)
29. *Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Gorshkov A. I.* Identifikatsiya i genezis lizardit-saponitovogo smeshanosloynogo obrazovaniya v kimberlitakh odnoy iz trubok Yuzhnoy Afriki [Identification and genesis of a lizardite-saponite mixed-layer formation in kimberlites of one of the pipes of South Africa], *Litologiya i*

- poleznyye iskopayemyye, 2003, No. 1, pp. 87–96. (In Russ.)
30. *Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D., Sokolov V. N.* Izmeneniye mineralnogo sostava i strukturnykh osobennostey kimberlitov Yakutii v protsesse vyvetrivaniya [Changes in the mineral composition and structural features of Yakutia kimberlites during weathering], *Geologiya i geofizika*, 1982, No. 2, pp. 42–53. (In Russ.)
  31. *Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T.* Tektonika i almazonosnyy magmatizm [Tectonics and diamond-bearing magmatism], *Voronezh, VGU*, 2004, 282 p. (In Russ.)
  32. *Ignatov P. A., Bushkov K. Yu., Shteyn Ya. I.* [et al.] Geologicheskiye i mineralogo-geokhimicheskiye priznaki struktur, kontroliruyushchikh almazonosnyye kimberlity Nakynskogo polya Yakutii [Geological and mineralogical-geochemical features of structures controlling diamond-bearing kimberlites of the Nakyn field of Yakutia], *Rudy i metally*, 2006, No. 4, pp. 59–67. (In Russ.)
  33. *Kedrova T. V., Bogush I. N., Zinchuk N. N., Bardukhinov L. D., Lipashova A. N., Afanasyev V. P.* Rossypi almazov Nakynskogo kimberlitovogo polya [Diamond placers of the Nakyn kimberlite field], *Geologiya i geofizika*, 2022, V. 63, No. 3, pp. 291–302. (In Russ.)
  34. *Koptil V. I.* Tipomorfizm almazov severo-vostoka Sibirskoy platformy v svyazi s problemoy prognozirovaniya i poiskov almaznykh mestorozhdeniy [Typomorphism of diamonds of the north-eastern Siberian platform in connection with the problem of forecasting and prospecting for diamond deposits], *Novosibirsk, IGM SO RAN publ.*, 1994, 25 p. (In Russ.)
  35. *Kotelnikov D. D., Dombrovskaya Zh. V., Zinchuk N. N.* Osnovnyye zakonomernosti vyvetrivaniya silikatnykh porod razlichnogo khimicheskogo i mineralogicheskogo tipa [Main patterns of weathering of silicate rocks of different chemical and mineralogical types], *Litologiya i poleznyye iskopayemyye*, 1995, No. 6, pp. 594–601. (In Russ.)
  36. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Geologicheskaya interpretatsiya rezultatov izucheniya glinistykh mineralov v osadochnom chekhle zemnoy kory [Geological interpretation of the results of the study of clay minerals in the sedimentary cover of the earth's crust], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya*, 2001, No. 12, pp. 45–51. (In Russ.)
  37. *Kotelnikov D. D., Zinchuk N. N.* Ob anomalii obshchey skhemy preobrazovaniya razbukhayushchikh glinistykh mineralov pri pogruzhении soderzhashchikh ikh otlozheniy v stratisferu [On the anomaly of the general scheme of transformation of swelling clay minerals during the immersion of sediments containing them into the stratisphere], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Seriya geologiya*, 2003, No. 2, pp. 57–68. (In Russ.)
  38. *Rozen O. M., Levskiy L. K., Zhuravlov D. Z., Spetsius Z. V., Makeyev A. F., Zinchuk N. N., Manakov A. V., Serenko V. P.* Sostav i vozrast zemnoy kory severo-vostoka Sibirskoy platformy: izucheniye ksenolitov v kimberlitakh i kernov glubokikh skvazhin [Composition and age of the earth's crust of the northeast of the Siberian platform: study of xenoliths in kimberlites and deep well cores], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 2006, No. 4, pp. 18–28. (In Russ.)
  39. *Savko A. D., Zinchuk N. N., Shevyrov L. T.* [et al.] Almazonosnost Voronezhskoy anteklizy [Diamond potential of the Voronezh antecline], *Trudy NIIG Voronezhskogo un-ta*, 2003, V. 17, 121 p. (In Russ.)
  40. *Kharkiv A. D., Kvasnitsa V. N., Safronov A. F., Zinchuk N. N.* Tipomorfizm almaza i yego mineralov-sputnikov iz kimberlitov [Typomorphism of diamond and its associated minerals from kimberlites], *Kyiv, Naukova Dumka publ.*, 1989, 183 p. (In Russ.)
  41. *Ashchepkov I. V., Vladykin N. N., Ntaflos T.* [et al.] Layering of the lithospheric mantle beneath the Siberian Craton modeling using thermobarometry of mantle xenolith and xenocrysts, *Tectonophysics*, 2014, V. 634, pp. 55–75.
  42. *Rosen O. M., Serenko V. P., Spetsius Z. V.* [et al.] Yakutian kimberlite province: Position in the Siberian craton and composition of the upper and lower crust, *Geologiya i Geofizika*, 2002, V. 43, No. 1, pp. 3–26.

Статья поступила в редакцию 10.12.25; одобрена после рецензирования 14.01.26; принята к публикации 14.01.26.  
The article was submitted 10.12.25; approved after reviewing 14.01.26; accepted for publication 14.01.26.