

Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе

Освещены результаты проведённых исследований мантийных нодулей в кимберлитовых диатремах основных алмазоносных районов Сибирской платформы. Комплексно исследовались морфология и химизм гранатов, хромдиопсидов, клинопироксенов, оливинов, пикроильменитов, хромитов, хромшпинелидов и алмазов. В целом для каждого типа кимберлитовых пород, слагающих трубки, количество минералов алмазной ассоциации пропорционально алмазоносности той или иной разновидности кимберлита.

Ключевые слова: мантийные ксенолиты, алмаз и его парагенетические спутники, алмазоносные поля, Сибирская платформа.

ЗИНЧУК НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, председатель ЗЯНЦ АН РС (Я), nnzinchuk@rambler.ru

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

Typomorphic properties of kimberlite indicator minerals and their use in forecasting diamond deposits on the Siberian Platform

N. N. ZINCHUK

West-Yakutian Scientific Centre of RS (Y) AS, Mirny

The results of mantle nodule investigations in kimberlite diatremes of the main Siberian Platform diamondiferous regions were analyzed. Morphology and chemistry of garnets, chrome-diopsides, clinopyroxenes, olivines, picroilmenites, chromites, chrome-spinellids and diamonds were investigated in detail. Generally, the quantity of diamond association minerals is proportional to diamond potential of a certain kimberlite variety for each type of kimberlite rocks composing pipes.

Key words: mantle xenoliths, diamond and its paragenetic accessory minerals, diamondiferous fields, Siberian Platform.

Кимберлитовые диатремы всех алмазоносных провинций мира характеризуются большим разнообразием по размеру, морфологии, глубине заложения очагов, внутреннему строению, особенностям состава заполняющих пород, содержанию и составу первичных (глубинных) минералов, составу основной массы кимберлитов, степени и характеру переработки последних постмагматическими и гипергенными процессами, содержанию, морфологии и физическим свойствам алмазов и другим признакам. Часть перечисленных особенностей кимберлитов обусловлена проявлением эндогенных факторов, а часть – экзогенных. От глубины формирования магматических очагов, состава пород верхней мантии зависят содержания инертных компонентов, индикаторных минералов кимберлитов (ИМК), в том числе и алмазов, содержание и состав ксенолитов

глубинных пород и некоторые другие параметры, отражающие эндогенную группу влияний. Экзогенные факторы, включающие состав и механические свойства вмещающих пород, наличие и степень минерализации захороненных вод, определяют масштабы и направленность вторичных изменений кимберлитов, концентрации подвижных оксидов, количество и состав коровых ксенолитов, а также в определённой степени размеры и морфологию кимберлитовых диатрем.

Типохимизм и распределение ИМК в объёме отдельных трубок. Несмотря на то, что каждое кимберлитовое тело представляет собой индивидуальный объект, практически не повторяющийся в природе, между ними существует много общего, что позволило [10–13] создавать общие модели для конкретных алмазоносных районов или полей. Общий спектр

мантйных нодулей в кимберлитовых трубках охватывает различные минеральные фации разреза верхней мантии, имеющие различные термодинамические характеристики. Для создания корректной статистической базы термодинамических реконструкций комплексно (с привлечением прецизионных методов изучения элементного состава) исследованы [1–7, 10–15] породообразующие и акцессорные минералы мантийных ассоциаций пяти кимберлитовых полей Сибирской платформы (СП) – Далдынского (ДКП), Алакит-Мархинского (АМКП), Верхне-Мунского (ВМКП), Мирнинского (МКП) и Накынского (НКП), включающие трубки Зарница и Долгожданная, Комсомольская, Сытыканская и Айхал, Деймос, Заполярная и Новинка, Мир, Дачная и Интернациональная, Нюрбинская и Ботуобинская. Для многих трубок впервые на достоверных выборках изучена минералогия ИМК. В выборках гранатов анализировались в основном пиропы из перидотитовых парагенезисов и пироп-альмандиновые гранаты эклогитовых парагенезисов, реже альмандины, которые отнесены к глубинным ассоциациям на основании находок алмазов в парагенезисах с гранатом такого типа в трубках НКП.

Для обработки результатов анализов состава гранатов, помимо основной классификационной диаграммы Н. В. Соболева $\text{CaO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ [4, 7–9], показывающей парагенетические зависимости (рис. 1), использованы и другие диаграммы с отражением различных компонентов. Например, отношение NiO , TiO_2 , Na_2O , FeO , MgO к Cr_2O_3 (рис. 2), которые могут характеризовать процессы эволюции поднимающихся магматических расплавов. В результате получены материалы для сравнения отдельных районов и трубок по значимым выборкам. Анализировались гранаты из концентрата фракций +0,25-0,5 и +0,5-1,0, отличающиеся по составу в более мелкой фракции, где доля гранатов алмазной фации значительно выше [18–20]. Крупные пиропы чаще всего более богаты TiO_2 и соответствуют пироксенитовым ассоциациям или перекристаллизованным перидотитам, импрегнированным расплавом. Помимо обычных прогнозных оценок алмазности кимберлитов по пиропам на диаграмме $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{CaO}$, полезны также определения уровней концентрации расплавов, поскольку прогрев, сопровождающий внедрение расплавов, может способствовать росту алмазов хорошего качества [13, 18]. Хромшпинелиды образуют

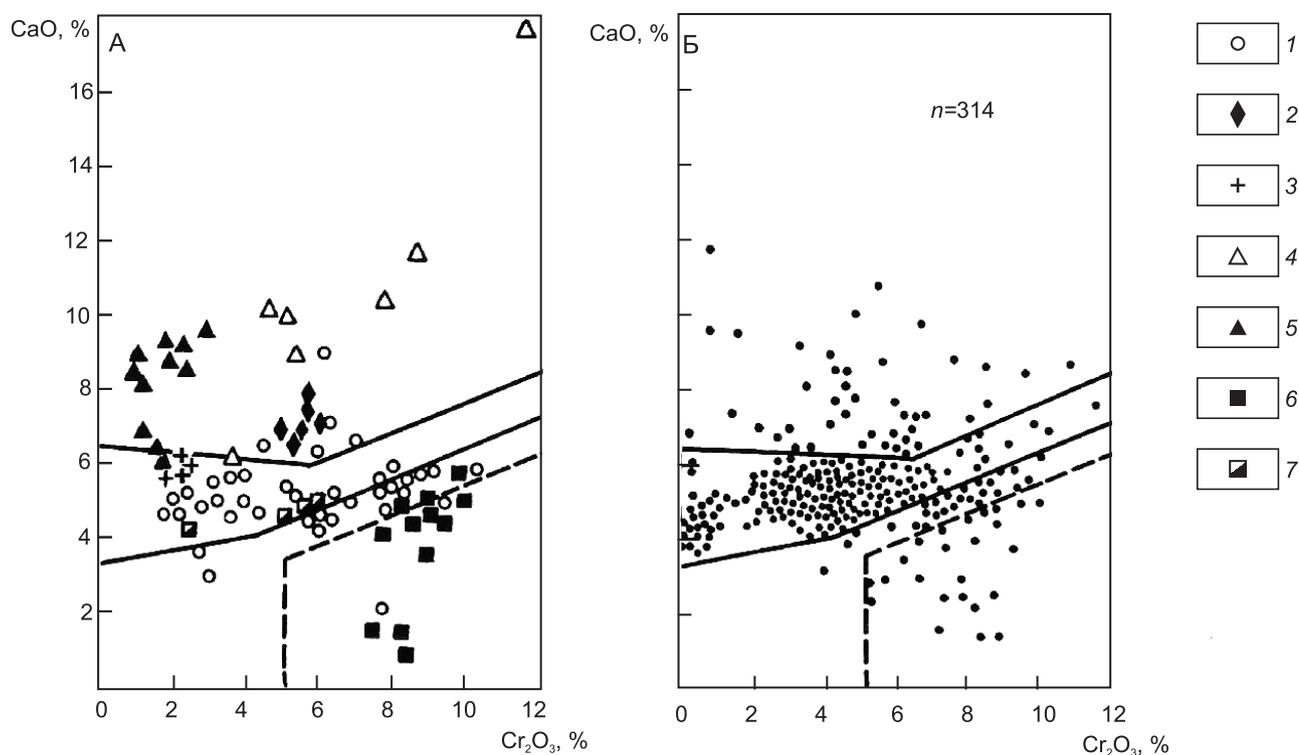


Рис. 1. Состав граната из ксенолитов глубинных пород (А) и основной массы кимберлитов трубки Интернациональная (Б): 1–3 – гранатосодержащие ксенолиты: 1 – перидотиты, 2–3 – магнезиально-железистые пироксениты; 4–5 – желваки граната, содержащие включения хромшпинелида (4) или пикроильменита (5); 6 – включения в алмазе; 7 – сростки с алмазом

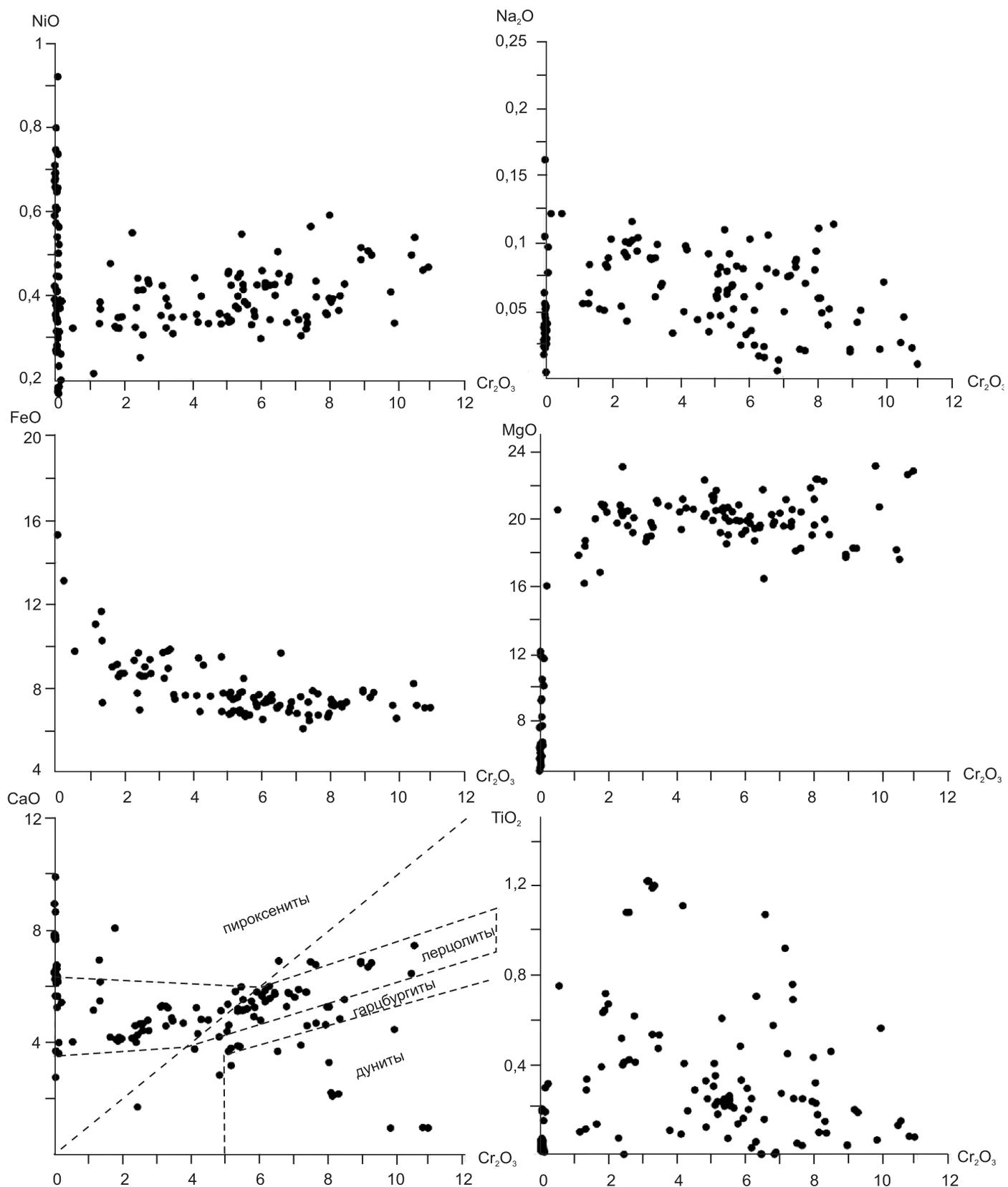


Рис. 2. Особенности химического состава (в масс.%) гранатов из кимберлитов трубки Ботубинская НКП СП

идiomорфные кристаллы и зёрна, покрытые множеством вицинальных граней. В продуктивных диатремах отмечено повышенное количество высокохромистых зёрен и разностей, относящихся к алмазной ассоциации (рис. 3). Зёрна *пикроильменита* имеют в основном размер 0,2–2,0 мм и широко варьирующий состав (особенно по содержанию магния, титана, железа и хрома). Среди выделений этого минерала нередко повышено количество ферримангнитной разности. Несмотря на сильную изменённость глубинных включений в отдельных трубках, во многих из них, как и в основной массе продуктивных кимберлитов, нередко отмечаются зёрна *хромитов*, иногда хорошо окристаллизованных. *Хромдиопсид* – один из важных поисковых минералов кимберлитов (рис. 4), хотя в большинстве диатрем СП его содер-

жание невелико (редкие зёрна), а поэтому в ореолах он не образует высоких концентраций. Лишь в единичных трубках (Загадочная, Буковинская и др.) ДААР количество хромдиопсида повышено, а поэтому при их размыве могут формироваться шлиховые ореолы этого минерала. Роль хромдиопсида возрастает при поисках «низкоспутниковых» кимберлитов, где традиционные ИМК (пироп и пикроильменит) содержатся в малых количествах. Содержание хромдиопсида в таких случаях остаётся на уровне или в несколько меньших концентрациях, чем других поисковых минералов. Хромдиопсиды, находящиеся в парагенезисе с алмазом (см. рис. 4), нередко используются в качестве минералогического критерия алмазоносности. *Оливин* – основной породообразующий минерал кимберлитов и других алмазоносных магматитов. Среди многочисленных выделений оливина и серпентиновых псевдоморфоз по нему, характеризующихся различными размерами, обособляются две группы. Первая представлена овальными и неправильной формы зёрнами размером более 2 мм, вторая составляет преобладающий объём основной массы, размеры её зёрен редко превышают 1 мм. Оливин большинства трубок и даек интенсивно серпентинизирован [10–15, 20–26], особенно в верхних горизонтах диатрем. Реликты свежего оливина встречены в ряде кимберлитовых диатрем в ассоциации с другими первичными минералами, а поэтому он может находиться и в ореолах рассеяния кимберлитового материала. Принято считать, что наличие оливина в шлихах и россыпях может свидетельствовать о близости коренных источников этого минерала [2–7, 16–19]. Поскольку оливин является довольно характерным для других магматических пород, то использование его в качестве индикаторного минерала возможно только вместе с другими ИМК. В виде рассеянных зёрен в отдельных трубках идентифицированы хромистые *клинопироксены*, присутствующие как в составе включений глубинных пород, так и в виде рассеянных зёрен в основной массе пород. Этот минерал иногда образует равновесный парагенезис с алмазом, в связи с чем его пытаются использовать и в качестве минералогического критерия алмазоносности [15, 19]. В ряде кимберлитовых трубок Сибирской платформы характерным первичным минералом является *циркон*. Несмотря на присутствие этого минерала и в других изверженных породах алмазоносных регионов, кимберлитовый циркон обладает рядом типоморфных признаков (крупные размеры зёрен, низкая радиоактивность и др.), по которым он относительно надёжно отличается от аналогичного минерала других магматических пород. Циркон – устойчивый минерал при транспортировке

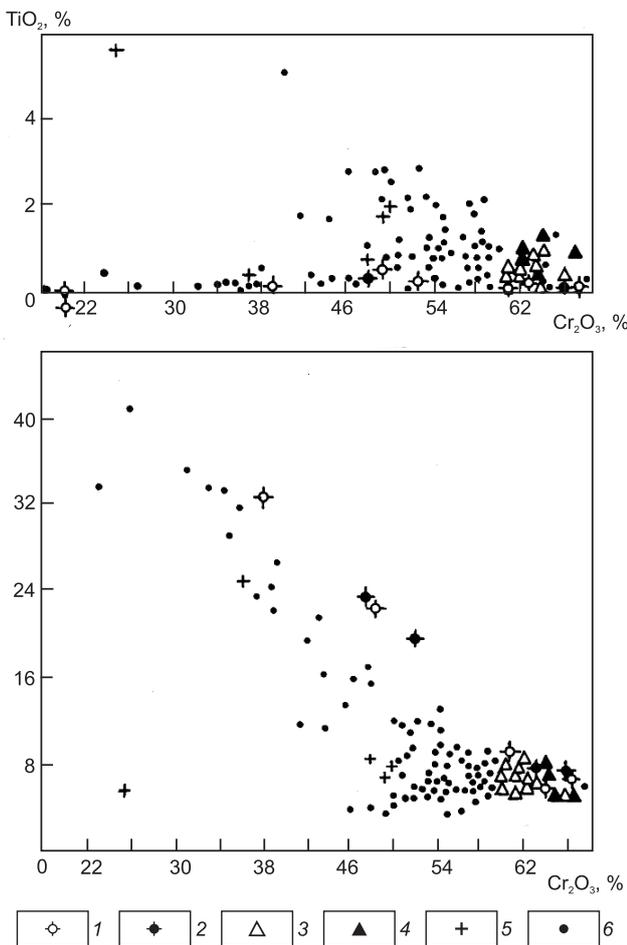


Рис. 3. Состав хромшпинелидов из ксенолитов и кимберлита трубки Интернациональная:

1–2 – хромшпинелидсодержащие ксенолиты перидотитов: 1 – без граната, 2 – с гранатом; 3–4 – включения в алмазах; 5 – включения в гранате; 6 – из основной массы кимберлитов

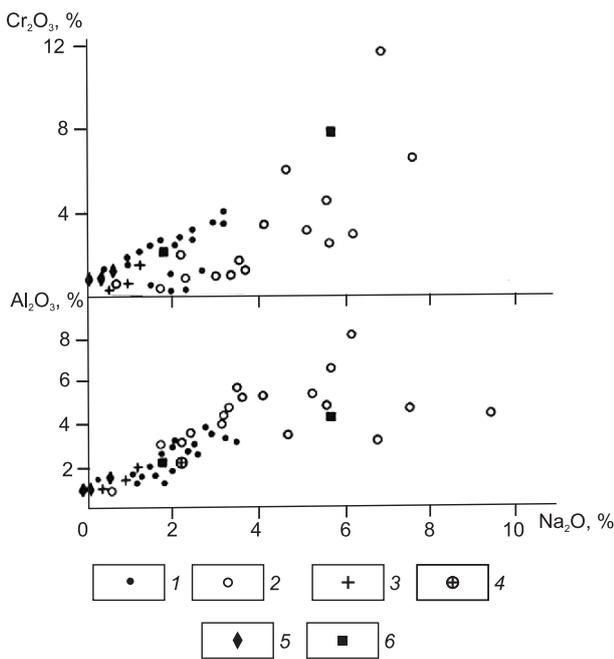


Рис. 4. Состав хромдиопсида, находящегося в парагенезисе с алмазом (в координатах $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ и $\text{Na}_2\text{O}-\text{Cr}_2\text{O}_3$):

1, 5 – включения в алмазах: 1 – из кимберлитов, 5 – из лампроитов Австралии; 2, 6 – сростки: 2 – с алмазом, 6 – с алмазом и гранатом; 3, 4 – зёрна из алмазоносного перидотита, в том числе ильменитового (4)

в водной среде – может присутствовать в осадочных толщах и в русловых образованиях. Встречающийся во многих кимберлитовых диатремах *apatit* можно разделить на три группы. Апатит-1 представлен довольно крупными (от 1 до 2 см) округло-овальными зёрнами, а также их обломками. Апатит-2 встречен в виде одиночных мелких зёрен, рассеянных в основной массе отдельных кимберлитовых диатрем. Для апатита-3 характерны радиально-лучистые веерообразные, формирующиеся в виде сферолитов в пустотах и прожилках кимберлитов. Считается, что поисковое значение имеет только апатит-1, часто встречающийся в шлихах вместе с другими ИМК. *Флогопит* в переменных количествах присутствует практически во всех кимберлитовых телах многих древних платформ мира, являясь нередко породообразующей фазой основной массы пород. Флогопит-1 представлен вкрапленниками таблитчатой, овальной и бочонковидной форм размером от нескольких мм до 5 см, флогопит-2 – мелкими (0,5–2,0 мм) пластинчатыми и чешуйчатыми кристаллами в основной массе кимберлитов, а флогопит-3 – чешуйчатыми выделениями в основной массе

породы. При поисках кимберлитов важное значение имеет флогопит-1 и продукты его замещения (хлорит и вермикулит).

Распределение ИМК в телах с различной алмазноносностью. Целесообразно рассмотреть особенности составов гранатов по соотношению оксидов хрома и кальция из различных полей и трубок с общим анализом тенденций распространения их основных парагенезисов. В составах гранатов из трубок ДКП проявляется тренд $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{CaO}$ в пределах лерцолитового поля, который для трубки Зарница обнаруживает [19] дискретный характер с разрывом в интервале 8–9 % Cr_2O_3 . Гранаты пироксенитовых ассоциаций (с повышенной долей CaO , TiO_2 и Na_2O) слагают существенную долю концентрата, поскольку они образуют прерывистые линии смешения с перидотитовыми парагенезисами, характеризующимися иногда зональностью в пределах образца. Количество групп обогащения минерала соответствует четырём уровням концентрации расплавов. Гранаты из трубки Удачная отличаются тем, что тренд их составов трансформирует границу с гарцбургитовым полем, доля пироксенитовых гранатов значительна, но они не столь контрастно отличаются по составу от перидотитовых, отражая процессы кимберлитобразования, что может быть вызвано «сглаживанием» границ за счёт метасоматической проработки мантийной литосферы под трубкой [12–14]. Составы гранатов из кимберлитовых трубок АМКП обычно образуют [15, 22] протяжённый тренд в пределах лерцолитового поля, субкальциевые гранаты появляются в массовых количествах начиная с 6% Cr_2O_3 . В трубке Сытыканская более хромистые гранаты менее обогащены кальцием, что вместе с содержанием TiO_2 и Na_2O может свидетельствовать об их пироксенитовом источнике из гранат-шпинелевой фации мантии. Гранаты из трубки Комсомольская также отличаются обогащением TiO_2 на уровне гранат-шпинелевого перехода и глубже (то есть на двух уровнях), один из которых соответствует алмазпироповой фации глубинности. Субкальциевые гранаты характерны для глубинных минеральных парагенезисов трубки Юбилейная при тенденции обогащения TiO_2 на уровне гранатовой и гранат-шпинелевой фаций верхней мантии. Наиболее богаты субкальциевыми гранатами кимберлиты трубки Айхал. В составах гранатов из трубок ВМКП (Заполярная, Новинка и Деймос) лерцолитовый тренд хорошо выражен лишь до 6,5% Cr_2O_3 , что зафиксировано на примере трубки Заполярная. Гранаты из кимберлитовых трубок НКП (особенно трубки Нюрбинская) на диаграмме $\text{Cr}_2\text{O}_3-\text{CaO}$ образуют протяжённый лерцолитовый тренд до 10–12 % Cr_2O_3 и параллельный ему в области гарцбургитовых

составов; дунитовые парагенезисы с очень низкими содержаниями СаО встречаются при содержаниях Cr_2O_3 10–12% в кимберлитах трубки Ботуобинская и редки в Нюрбинской. Обоим телам свойственны алмазоносные парагенезисы с алмандином (FeO ~24–26%), составляя нередко более 50% тяжёлых минералов.

Особого внимания заслуживает *хромдиопсид*, являющийся весьма чутким индикатором условий магмообразования. Он встречается практически во всех трубках, будучи, как и пироп, продуктом дезинтеграции мантийных перидотитов в основном из литосферной части мантии. Реликты хромдиопсида можно обнаружить даже в кимберлитах высокой степени серпентинизации; заметно увеличивается его количество в глубинных частях кимберлитовых трубок начиная с уровня 600 м и более. Составы хромистых клинопироксенов значительно варьируют в пределах трубок и между отдельными кимберлитовыми полями. Обычно хромистость положительно коррелируется с глубиной образования и степенью метасоматической проработки магматической колонны. Увеличение степени плавления перидотитов также приводит к увеличению хромистости, если в системе достаточно Na_2O . По составу клинопироксена существует резкая зональность в пределах Сибирской алмазоносной провинции (САП). Наиболее истощённые перидотиты установлены в кимберлитах ДКП, где присутствуют даже глубинные деформированные перидотиты, в которых образование клинопироксена связано с проработкой глубинными карбонатитовыми расплавами [9, 13]. Вариации состава *клинопироксенов* из кимберлитов ДКП показывают, что более железистые (FeO ~4%), но мало хромистые клинопироксены в кимберлитах встречаются в гранат-шпинелевых и шпинелевых перидотитах. В трубках Долгожданная и Иреляхская глубинные Cr -диопсиды из перидотитов образованы в процессе магматического замещения силикатным железистым расплавом с уменьшением доли Cr_2O_3 и Na_2O . Силикатный расплав менее характерен для процессов алмазообразования, однако может способствовать перекристаллизации при разогреве вблизи контактовых зон. Самые хромистые пироксены (Cr_2O_3 до 6%) близки по составу к космохлору. Не менее пяти групп, выделяемых по уровню содержания Na_2O и Cr_2O_3 , соответствуют слоистости в мантии и, возможно, отдельным пульсациям метасоматических процессов. Судя по редкой встречаемости перидотитов с характеристиками, близкими к таковым ДКП, процессу метасоматоза подвержена практически вся мантийная колонна в алмаз-пироповой фации. В трубке Айхал составы пироксенов очень близки к хромдиопсидам из трубки Юбилейная, но они

несколько менее щелочные, в них больше разновидностей истощённого типа и железистых составов, особенно малоглубинных. Из экспериментальных данных известно о прямой зависимости содержания гейкилитового минала от давления [18–20]. При этом необходимо учитывать, что и сравнительно малоглубинные ильмениты из метасоматитов в мантийных перидотитах также могут быть магнезиальными – дополнительным показателем принадлежности к мантийным метасоматитам является повышенная хромистость *ильменитов* [4]. Исключением являются многие ксенолиты глиммеритов, особенно с существенно оливиновыми вмещающими породами, повышение содержания хрома в которых часто не наблюдается. Аналогично ведут себя и многие ильменитсодержащие породы, которые, судя по термобарометрии, могут быть очень глубинными и образовываться вблизи основания литосферы, но также не отличаются повышенной хромистостью и чрезвычайно высокими содержаниями MgO . Анализ состава ильменита из различных кимберлитовых трубок, специфика распределения концентраций основных компонентов (TiO_2 , MgO , NiO , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 , MnO , V_2O_5), а также высокозарядных элементов-примесей – Nb, Ta, Hf, Y и, как правило, REE – являются показателем условий фракционирования кимберлитового расплава в магматических камерах [22] и в продвигающейся колонне кимберлитовых масс в основании литосферы. Следует отметить, что, кроме указанной индикаторной роли минерала в эволюции поднимающихся в земную кору кимберлитовых расплавов, его химизм отражает специфику строения верхней мантии под кимберлитовыми проявлениями, при сходстве составов ильменита отдельно взятых кустов кимберлитовых трубок [13–15]. Важную роль в определении условий мантийного петрогенезиса, продуцирующего кимберлитовые расплавы, играет хромит. Хромитовые тренды имеют чётко выраженные зависимости от давления, которое коррелирует с хромистостью; выявлена тенденция обогащения хромом в ранних микрофенокристаллах, а Fe и Ti – на более поздних стадиях [17]. Примечательно, что включения хромита в алмазах всегда высокохромисты: Cr_2O_3 составляет более 60 масс.%. На диаграммах Cr_2O_3 – Al_2O_3 хромиты обычно обнаруживают чётко выраженные обратные зависимости. Наблюдаемые в отдельных случаях отклонения обусловлены, вероятнее всего, вхождением ульвошпинелевого или магнетитового минала преимущественно к наиболее хромистой части шпинелевых трендов, что связано с близостью к глубинным магматическим источникам в основании литосферных колонн. В зависимости от окислительных условий возможны

варианты изоморфных замещений. У *хромшпинелидов* трубки Зарница ДКП наблюдается расщепление тренда составов на обогащённый ульвошпинелевым компонентом и более характерный для рядом расположенной трубки Удачная. При этом тренд составов хромитов из трубки Зарница, как и ильменитов, проявляет дискретный характер, а трубки Удачная – более непрерывный ряд составов, вплоть до 10 масс.% Cr_2O_3 – значений шпинелевой фации. *Шпинелиды* из кимберлитов трубки Юбилейная, как и некоторых других трубок в АМКП, также обнаруживают вариации составов, при этом наблюдается характерное расщепление трендов, что может соответствовать слоистости мантийного разреза [19, 25]. Подобный тренд проявлен и для хромшпинелидов верхней части мантийной колонны. Шпинелиды из трубки Айхал также обнаруживают сходный тренд расщепления, но он менее контрастен, чем в Юбилейной и некоторых других трубках поля. В Малоботуобинском алмазоносном районе (МБАР) кимберлитовые тела (за исключением трубки Интернациональная) отличаются редкой встречаемостью хромшпинелидов [3–6, 10–12]. Тренд состава хромитов трубки Интернациональная проявляет чёткое деление на отдельные интервалы с существенным расщеплением на ветви, но между ветвями в более хромистой глубинной области наблюдаются линии смешения, что могло быть связано с отдельными промежуточными магматическими очагами. Судя по вариациям составов хромитов из трубки Заполярная ВМКП, практически вся перидотитовая колонна верхней мантии подвержена взаимодействию с жильной системой с обогащением и разогревом [7]. Эти же процессы можно предположить по гомогенному тренду составов клинопироксена и данным термобарометрии. Для трубки Нюрбинская НКП тренд обогащения ульвошпинелевым миналом очень крутой и состоит из двух отрезков. В менее глубинной части интервала степень взаимодействия поднимающихся протокимберлитовых масс менее выражена. Вполне возможно, что на более значительной глубине из этих расплавов вместо ильменита кристаллизовалась ульвошпинель, при достаточно высоких степенях окисления и высоких температурах. Этим отчасти объясняется отсутствие ильменитовых мегакристаллов в кимберлитах НКП.

В целом для каждого типа кимберлитовых пород, слагающих трубки, количество ИМК алмазной ассоциации пропорционально алмазоносности той или иной разновидности кимберлита. Высокоалмазоносные кимберлитовые тела этой группы характеризуются содержанием не менее 5% гранатов алмазной ассоциации от общего их числа. Обособляющиеся от них высокоалмазоносные кимберлиты НКП

характеризуются [12–15] пониженным содержанием гранатов алмазной ассоциации (более чем в два раза). Главная их особенность – преобладание низкохромистых разновидностей, оставляющих не менее 66% от общего количества, при появлении зёрен с $Cr_2O_3 \geq 12$ масс.%. В кимберлитах этого поля, характеризующихся снижением роли первых двух минералов, важное индикационное значение принадлежит хромшпинели.

Типоморфизм алмазов. Очень важной является разработка новых и совершенствование уже принятых методов изучения *алмаза* – минерала с широким комплексом физико-химических, кристалло-морфологических и других особенностей, отражающих своеобразие термодинамических и геохимических условий его образования, которые могут быть использованы в качестве типоморфных [5–7, 13–15]. Алмазы из отдельных кимберлитовых тел (а нередко и из различных минералого-петрографических разновидностей кимберлитов в одном и том же месторождении) довольно существенно отличаются по ряду типоморфных особенностей. Зная свойства алмазов из кимберлитовых тел, можно с большой долей уверенности решить вопрос о коренных источниках изучаемой россыпи или группы россыпей. Современные методы исследования алмазов дают возможность получить большой объём информации об условиях их образования, последующего существования и изменения, что имеет важное значение при прогнозировании, поисках и оценке алмазных месторождений. Из большого спектра этих особенностей наиболее информативными и относительно легко диагностируемыми являются: морфология, фотолюминесценция, распределение азотных и водородных центров, электронный парамагнитный резонанс, химический состав твёрдых включений в алмазах и др. [10–14]. При этом главнейшим из них можно считать определение принадлежности алмазов к определённой минералогической разновидности, что происходит по комплексу взаимосвязанных признаков и свойств. В результате многолетних исследований алмазов из россыпей и кимберлитовых тел САП (Якутия, Красноярский край и Иркутская область) с применением минералогической классификации алмазов, предложенной Ю. Л. Орловым [20], по которой выделяется 11 генетических разновидностей алмазов (с дополнительным разделением кристаллов отдельных разновидностей по габитусу и морфологическим типам кристаллов), автором с коллегами [10–12] накоплен громадный фактический материал по типоморфным особенностям алмазов из кимберлитовых тел, современных отложений и разновозрастных вторичных коллекторов САП, что позволило провести [13–15] районирование

территорий. Алмазы *разновидности I* наиболее распространены в природных объектах. В кимберлитовых месторождениях их выход составляет 80–90% и падает до 50% с ростом размеров кристаллов. В россыпях северо-востока САП их содержание уменьшается. Основной формой кристаллов является октаэдр. По внешней морфологии к этой разновидности относятся плоскогранные октаэдры, часто имеющие слоистость на рёбрах. Обычно эти алмазы прозрачные и бесцветные. В разных месторождениях содержание алмазов разновидности I разных габитусных форм и окрашенных индивидов изменяется. Среди них чаще, чем среди алмазов других монокристаллических разновидностей, встречаются обломки и кристаллы со сколами. Среди алмазов разновидности I по своим свойствам выделяются безазотные и полупроводниковые алмазы типов Па и Пв. Для алмазов *разновидности II* характерна кубическая форма роста и их окраска: обычно янтарно-жёлтая и жёлто-оранжевая, иногда с зеленоватым оттенком. В отдельных случаях кристаллы в результате эпигенетических процессов приобретают кофейно-коричневый или бурый цвет. По физическим свойствам к этой разновидности отнесены также непрозрачные, чёрные с металлическим блеском алмазы. В процессе растворения кубические кристаллы меняют облик, приобретая кривогранные формы. Алмазы разновидности II в небольших (менее 3%) количествах устанавливаются в некоторых кимберлитовых телах Далдыно-Алакитского алмазонасного района – ДААР (трубки Юбилейная, Удачная, Комсомольская, Иреляхская и др.) и составляют значительную часть (5–50%) в россыпях северо-востока САП, коренные источники которых не установлены. К алмазам *разновидности III* относятся полупрозрачные и непрозрачные кристаллы кубической формы, которая усложняется развитием других основных граней. Габитус часто искажается вследствие срастания нескольких кристаллов по {100} или образования двойников прорастания. Алмазы этой разновидности окрашены в серый цвет, который может меняться до тёмно-серого и даже чёрного. Все градации окраски объясняются тем, что внешние зоны кристалла насыщены микроскопическими включениями и мелкими трещинами. Алмазы разновидности III встречаются только в некоторых месторождениях и россыпях, в основном среди крупных разновидностей кристаллов. Алмазы *разновидности IV* известны давно и описаны в литературе [4–7] как алмазы в оболочках. Этим названием подчёркивается, что такие алмазы имеют структурно-различимые части с чёткой границей раздела – ядро и оболочку, которые на сколах кристаллов хорошо видны невооружённым глазом. Необходимо отме-

тить повышенное (до 10% и более) содержание алмазов с оболочкой в уникальных по продуктивности кимберлитовых телах НКП (Ботуобинская и Нюрбинская), трубках Айхал и Юбилейная ДААР, где они несут на себе признаки природного растворения. Обычно ядром алмазов этой разновидности являются бесцветные прозрачные кристаллы с октаэдрическими гранями и со всеми особенностями реальной структуры, присущими разновидности I. Окраска алмазов этой разновидности обусловлена оптическими свойствами оболочек. В зависимости от насыщенности микровключениями оболочки могут быть полупрозрачными и непрозрачными. Алмазы *разновидности V* обычно на САП встречаются в россыпях, где в отдельных случаях их содержание достигает 40–50%, в то время как среди кимберлитовых алмазов они обычно не превышают долей процента. К ним относятся тёмные, серые, иногда почти чёрные алмазы, имеющие переходные между октаэдром и ромбододекаэдром формы. Их окраска определяется большим количеством включений, прежде всего графита, находящихся во внешней зоне кристалла в виде хлопьев или точечных образований. Встречаются также сростки из двух–трёх кристаллов с общей оболочкой. Центральная часть кристаллов этой разновидности является бесцветной и прозрачной. В целом отмечается резкое отличие алмазов разновидности V из кимберлитовых тел от алмазов той же разновидности из россыпей СП. Алмазы *разновидности VI* (баллас) в месторождениях России попадались в незначительном количестве только в россыпях. В виде поликристаллических шаровидных образований характерны для россыпей Бразилии и Южной Африки. Есть сведения о находке балласов и в кимберлитовой трубке Премьер (Африка). К алмазам *разновидности VII* относятся сростки из нескольких достаточно крупных (до 4–5 мм) кристаллов, обычно полупрозрачных вследствие множества включений, внутренних трещин и каналов травления, развитых по трещинам и по границам срастания отдельных кристаллов. Форма их роста – октаэдр, который в результате растворения может принимать додекаэдрический облик. Их значительную часть составляют циклические сложные двойники. Все кристаллы имеют каналы травления («шрамы»). Существуют переходы между алмазами разновидностей, причём часто в сростках отдельные индивиды представлены серыми кристаллами разновидности V. К разновидности VII относятся также сложнодеформированные двойники и сростки додекаэдроидов из россыпей северо-востока САП, часто полициклические, близкие по своим особенностям к разновидности V, но почти без включений графита. Комплекс типоморфных особенностей алмазов

разновидностей V+VII из указанных россыпей свидетельствует об их принадлежности к одному генетическому типу, происходящему из коренных источников неизвестного типа. Алмазы разновидности VIII представляют собой друзоподобные сростки многочисленных хорошо огранённых мелких алмазов одинакового размера (до 1 мм). Кристаллы наружной части сростка представлены октаэдрами, часто со ступенчато-пластинчатым характером развития граней, бесцветными и прозрачными. В центральной части агрегата просматривается тёмное ядро неправильной формы. Алмазы разновидностей VIII и IX в месторождениях обычно встречаются вместе, иногда достигая в отдельных трубках до 20 %. К алмазам разновидности IX относятся поликристаллические сростки в виде кусков неправильной формы, образованных из зёрен размером 0,02–0,1 мм, иногда неоднородных по величине и не имеющих кристаллографической огранки. Агрегаты непрозрачны, окрашены в цвета от тёмно-серого до совершенно чёрного. Алмазы разновидности X (карбонадо) известны давно. Они были найдены в россыпях Бразилии, Венесуэлы и Центральной Африки. На САП карбонадо разновидности X практически отсутствуют. Единичные образцы отнесены к этой разновидности только по рентгеноструктурным исследованиям. К алмазам разновидности XI относятся поликристаллические и синтетические алмазы, содержащие в структуре три известные модификации углерода: алмаз, лонсдейлит и графит. Поскольку условия их образования являются следствием динамических нагрузок, сопровождающихся соответствующим разогревом. В природе алмазы разновидности XI встречаются в метеоритных кратерах и метеоритах. В россыпях северо-востока СП обнаружены бесформенные, нередко пластинчатые зёрна тёмно-бурого до стально-серого цвета, своим внешним видом напоминающие шлак. Рентгенографическими исследованиями они определены как карбонадо и с учётом их специфики для них было предложено название «якутит». Аналогичные поликристаллические агрегаты алмаза были встречены и в аллювиальных отложениях [3–7, 17–26], где коренными источниками таких зёрен являются метеориты и ударно-метаморфизированные породы. В природе в действительности мы видим смесь отдельных разновидностей алмазов [10–13]. Так, в кимберлитовой трубке Интернациональная в МБАР преобладают бесцветные кристаллы октаэдрического габитуса разновидности I (71 %), реже переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому (23 %) при пониженном (меньше 1 %) содержании ламинарных ромбододекаэдров. В рядом находящейся в этом же районе кимберлитовой трубке

имени XXIII съезда КПСС, характеризующейся в верхней части чётко выраженной корой выветривания, также представлены бесцветными, реже эпигенетическим окрашенными в лилово-коричневые цвета алмазами разновидности I. Среди них резко преобладают (до 82 %) кристаллы октаэдрического габитуса при невысоком (до 13 %) содержании кристаллов переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитусов. В свою очередь, из трубок НКП (трубки Нюрбинская и Ботуобинская) отмечаются бесцветные, реже эпигенетически бледно окрашенные в лилово- и дымчато-коричневые цвета кристаллы разновидности I при повышенной доле, по сравнению с другими месторождениями САП, алмазов разновидности IV с окрашенной в желтовато-зелёные и серые цвета оболочкой. В слабоэродированных диатремах с развитой в верхней части толщей вулканогенно-осадочных пород, ярким примером которых является самая большая на САП (59 га в верхней части) кимберлитовая трубка Юбилейная, среди бесцветных прозрачных и полупрозрачных кристаллов почти половину составляют разновидности, окрашенные в различные цвета. Среди них свыше 30 % бледно-дымчато-коричневых, меньше розово-лиловых и лилово-коричневых, окрашенных вследствие пластинчатой деформации. Характерно значительное количество индивидов с признаками природного травления (шрамы, матировка, коррозия, каверны и др.), количество которых по месторождению достигает 25 % всех алмазов. Таким же разнообразием характеризуется спектр алмазов из россыпей САП [2–7, 11–15].

Районирование Сибирской алмазоносной провинции по типоморфным свойствам алмазов и других ИМК. Комплексное изучение основных ИМК позволило получить большой объём информации об условиях их образования, последующего существования и изменения. В целом наблюдаются существенные изменения первичных минералов кимберлитов в направлении от их в коренном залегании в верхних частях диатрем даже затронутых процессами выветривания (рис. 5), при недалёком переносе от источников (рис. 6) и при длительной их транспортировке (рис. 7). Отмечаются морфологические и ассоциационные изменения и наиболее устойчивого при транспортировке основного минерала кимберлитов – алмаза (рис. 8). Это следует учитывать при поисках и оценке коренных и россыпных месторождений этого минерала. Использование такой информации для прогнозно-поисковых работ составляет одну из практических задач поисковой минералогии алмаза. В алмазной геологии основным объектом исследований является сам алмаз – очень устойчивый в экзогенных условиях минерал,



Рис. 5. Пиропы из коры выветривания кимберлитов МБАР с признаками существенного гипергенного преобразования: шлик, фракция -2+1 мм

характеризующийся широким комплексом кристалло-морфологических, физико-химических и других особенностей, которые отражают всё разнообразие термодинамических и геохимических условий его образования, рассматриваемых как их типоморфные признаки. Использование этих признаков в практике поисковых работ на алмазы повышает их эффективность, так как позволяет проводить районирование исследуемых перспективных территорий и на этой основе исключать из опоскования те площади, на которых нахождение алмазоносных кимберлитов маловероятно. Следует отметить, что на начальных этапах алмазопроисковочных работ на СП проводился большой объём наработки крупномасштабных проб и их обогащений, что привело к открытию крупных кимберлитовых диатрем и созданию отечественной алмазодобывающей промышленности. В последующие 50–60 лет поиски ким-

берлитовых трубок велись уже малыми объёмами, преимущественно шлиховым опробованием (объём пробы в основном составлял 10 л) по алмазам и другим ИМК (пироп, пикроильменит и др.), и только оценка степени алмазоносности обнаруженных продуктивных образований осуществлялась крупнообъёмным опробованием. В этот период открыты все известные кимберлитовые тела и россыпи. В то же время были предприняты безуспешные попытки обнаружения коренных источников алмазов россыпью на юго-западе, севере и северо-востоке СП и в первую очередь в Анабарском (Эбеляхском) районе, характеризующемся в основном полигенетической ассоциацией алмазов с преобладанием типичных округлых камней «уральского» («бразильского») типа и кристаллов кубического и тетрагексаэдрического габитуса, а также полукруглых октаэдровидов и сложнодеформированных двойников и сростков додекаэдровидов с невыясненным типом их первоисточников [1–6, 13, 24].

При всём разнообразии алмазов даже в пределах одной САП, по которой сделана применяемая классификация Ю. Л. Орлова [20], представилась возможность выделить [10–15] четыре типа источников алмазов: *I тип первоисточника* – кимберлитовый, характерный для богатых кимберлитовых тел фанерозойского возраста, характеризуется режимом преобладанием алмазов разновидности I, представленных ламинарными кристаллами октаэдрического, ромбододекаэдрического и переходного между ними габитусов и образующих непрерывный ряд, а также присутствием алмазов с оболочкой разновидности IV, серых кубов разновидности III, поликристаллических агрегатов разновидностей VIII–IX, а в отдельных месторождениях (трубка Юбилейная) равномерно окрашенных в жёлтый цвет кубовидов разновидности II. *II тип первоисточника* – алмазы кимберлитового генезиса, характерные для кимберлитовых тел с убогой алмазоносностью и кимберлитовых жил; он выделяется по преобладанию додекаэдровидов с шагренью и полосами пластической деформации «жильного» типа, типичных округлых алмазов «уральского» («бразильского») типа и присутствию бесцветных кубовидов разновидности I. *III тип первоисточника* – алмазы невыясненного генезиса, характерные в основном для россыпей северо-востока САП, коренные источники которых до настоящего времени не обнаружены. Кристаллы этих источников представлены [9, 20] графитизированными ромбододекаэдрами разновидности V, сложенными двойниками и сростками додекаэдровидов разновидности VII с лёгким ($\delta^{13}\text{C} = -23\%$) изотопным составом углерода и равномерно окрашенными кубоидами разновидности II с изотопным составом



Рис. 6. Пироп-ильменитовая ассоциация из мезозойской пролювиально-озёрной россыпи МБАР:

шлих, фракция –2+1 мм

углерода промежуточного ($\delta^{13}\text{C} = -13,60\text{‰}$) состава, образующими ассоциацию «эбеляхского» («нижнеленского») типа. *IV тип первоисточника* – алмазы взрывных кольцевых структур импактного генезиса, представленные поликристаллами алмаза типа карбонадо с примесью гексагональной модификации углерода – лондейлита (якутит). Полученные данные позволили разделить [10–13] САП на четыре субпровинции: Центрально-Сибирскую – ЦСАСП (центральная часть платформы) с преобладанием I типа первоисточника; Лено-Анабарскую – ЛААСП (северо-восток платформы) с преобладанием кристаллов III типа первоисточника не выясненного генезиса; Тунгусскую – ТАСП (юго-запад платформы) с преобладанием типичных округлых алмазов уральского (бразильского) типа, источником которых, возможно, были докембрийские терригенные формации платформы и её складчатого обрамления; Алданскую – ААСП (юго-восток платформы) с находкой единичных округлых алмазов.

Всестороннее исследование алмазов из всех разновозрастных коллекторов и кимберлитовых диатрем позволило выработать систему анализа их типоморфных особенностей и провести как региональное, так и среднемасштабное районирование. Так, в россыпях первой субпровинции отмечается высокое содержание кристаллов октаэдрического и ромбододекаэдрического габитусов. В пределах ЛААСП выделяются две алмазоносные области: Кютюнгинская (Приленская) и Анабаро-Оленёкская. В россыпях первой области устанавливаются кристаллы октаэдрического габитуса (ассоциация «кютюнгинского» типа), характерные для богатого типа первоисточника кимберлитового генезиса. В россыпях Лено-Анабарской области наблюдается резкое преобладание алмазов из первоисточника невыясненного генезиса (ассоциации «эбеляхского» типа) с преобладанием кристаллов разновидностей II, V и VII, типичных округлых алмазов во всех возрастных и генетических типах алмазоносных отложений. ТАСП разделяется на две области: Байкитскую и Саяно-Тунгусскую. Для россыпей последней типично доминирование округлых алмазов «уральского» («бразильского») типа и присутствие значительного количества (до 10 %) балласов. В россыпях Байкитской области преобладают кристаллы октаэдрического габитуса ассоциации «мирнинского» типа, характерной для богатых кимберлитовых трубок, но при значительных содержаниях типичных округлых алмазов (особенно в крупных классах), свойственных периферийным частям древних платформ.

Первичные кимберлитовые минералы (алмаз, пироп, пикроильменит, хромшпинелид, оливин и др.) встречаются в виде единичных зёрен по всему разрезу верхнепалеозойских и мезозойских отложений перспективных территорий основных алмазоносных районов Сибирской платформы. Наиболее высокие концентрации этих минералов установлены в верхнепалеозойских осадочных толщах на восточном борту Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (ТВС), поскольку здесь обнаружены высокоалмазоносные среднепалеозойские кимберлитовые трубки (МБАР и ДААР). В то же время на южном и юго-западном её бортах (Чуно-Бирюсинский, Муру-Ковинский, Илим-Катангский, Нижне-Тунгусский и Тычанский алмазоносные районы) в отложениях карбона и перми зафиксированы незначительные по количеству находки алмазов и других ИМК, в основном овальной и овально-угловатой формы. На северо-востоке Сибирской платформы отложения нижнего карбона приурочены к Кютюнгинскому грабену. Кимберлитовые минералы в базальных горизонтах здесь образуют алмаз-пироповую ассоциацию,



Рис. 7. Индикаторные минералы (пикроильменит, хромдиопсид, циркон, оливин и пироп) из аллювиальной россыпи дальнего сноса продуктивного материала:

устье р. Дьюкен (р. Б. Куонапка); шлик, фракция $-1+0,5$ мм

обычно характерную для высокоалмазоносных кимберлитовых диатрем. В этой же части платформы на бортах Лено-Анабарского и Предверхоанского прогибов в верхнепалеозойских отложениях установлены находки единичных мелких алмазов и ИМК пироп-пикроильменитовой ассоциации, в составе которой наряду с изношенными зёрнами присутствуют пиропы и пикроильмениты с реликтами первичной магматогенной поверхности. По концентрации, крупности и степени сохранности кимберлитовых минералов в верхнепалеозойских отложениях резко выделяется восточный борт ТВС от ДААР до МБАР, где в базальных горизонтах на локальных участках среди общего содержания окатанных и полуокатанных ИМК (пироп, пикроильменит и др.) отмечены зёрна со слабоизношенной поверхностью. В пределах МБАР в верхнепалеозойских

отложениях закартированы два обширных шлейфа разноса ИМК и самих алмазов северо-западного и северо-восточного направлений, отходящих от кимберлитовых трубок МКП и формирующих соответственно два минералогических поля (Кюеляхское и Бахчинское) с довольно многочисленными ореолами смешанного (континентальных и бассейновых) типа со слабоотсортированной алмаз-пироп-пикроильменитовой ассоциацией этих минералов.

Наиболее благоприятными для поисков мезозойских россыпей алмазов являются рэт-лейасовые отложения, развитые в пределах структурной террасы вдоль северо-западного борта Ангаро-Виллюйского наложенного мезозойского прогиба (АВНМП). Мощные корообразовательные процессы, предшествовавшие их накоплению, способствовали высвобождению большого количества устойчивых первичных минералов, а низкая транспортирующая способность их водотоков – концентрации полезных компонентов в локальных депрессиях [9–15, 17–19, 23–26]. Здесь наибольшие по размерам, невыдержанные, но нередко очень богатые по концентрации полезного компонента россыпи струйчатого строения могут быть приурочены к делювиально-пролювиальным образованиям, а крупные площадного строения с выдержанными параметрами – к озёрным и озёрно-болотным отложениям. Указанные специфические особенности формирования этих отложений в пределах склона локальных депрессий вблизи кимберлитовых трубок обуславливают их уникальную алмазоносность. По мере удаления от трубок концентрация кимберлитового материала в мезозойских отложениях уменьшается, что необходимо учитывать при проведении на таких участках поисковых работ. Россыпи алмазов, приуроченные к делювиально-пролювиальным отложениям и характеризующиеся ограниченным распространением и крайне неравномерным (нередко узкоструйчатым) распределением кимберлитового материала, при производстве поисково-разведочных работ требуют изучения по более плотной сети горных выработок. Ещё более перспективными для поисков алмазных месторождений являются мезозойские отложения, развитые на террасе шириной до 30 км вдоль бровки АВНМП (северо-западная структурно-формационная зона МБАР), где образуются значительные по размерам ореолы рассеяния ИМК, которые надёжно подсекаются горными выработками, пройденными по применяемой оптимальной сети [2–9, 16–19, 22–26] и прослеживаемыми вплоть до их коренных источников. Выявленные в таких отложениях алмазы и другие ИМК свидетельствуют о нахождении на близрасположенных палеоподнятиях их коренного либо промежуточного источника.



Рис. 8. Алмазы из нижнекарбонатовых отложений Кютюндинского грабена Приленского алмазоносного района Сибирской платформы

Всё это подчёркивает важность комплексного изучения вещественного состава фаций и макрофаций делювиально-пролювиальных, озёрных и озёрно-болотных отложений мезозоя и определение концентрации в них ИМК.

Обсуждение результатов исследований и выводы. Анализ приведённого материала показал, что содержание алмазов, их физические свойства, качество кристаллов в основном определяются глубинными факторами – физико-химическими условиями кристаллизации в верхней мантии. Кроме того, можно предположить, что в некоторых случаях на перечисленные характеристики существенно влияют посткристаллизационные факторы: скорость транспортировки алмазов к поверхности, сила взрывных процессов, термальное воздействие на минералы более поздних интрузий, проникающих в кимберлитовые тела, сохранившиеся на длительное время высокотемпературные условия в кимберлитовых диатремах и даже гипергенное изменение кимберлитов. Состав глубинных (мантийных) минералов (пироп, пикроильменит, хромшпинелид и др.), кристалломорфология и физические свойства алмазов дифференцированы на уровне субпровинции, поля и каждой трубки. Индивидуальные особенности состава и физических свойств ИМК выявляются на статистическом уровне. Содержание ИМК в самых верхних частях слабоэродированных диатрем, сложенных вулканогенно-осадочными образованиями, обычно низкое (особенно в тонкозернистых фациях стратифицированных пород). Здесь зёрна этих минералов имеют небольшие размеры

и угловато-неправильную форму. На пиробах отмечены только реликты келифитовых кайм. На пикроильмените реакционные оболочки встречаются чаще (чем на пиропе), но обычно и на этом минерале они покрывают поверхность фрагментарно. Содержание ИМК на глубоких частях диатрем выше, чем в самых верхних горизонтах, хотя в разных диатремах оно различно, колеблясь от знакового до первых процентов. Количество первичных минералов на средних горизонтах диатрем (в нижней части труба и верхней части вертикального канала) повышено, причём зёрна этих минералов здесь значительно крупнее. В подводющем дайкоподобном канале отмечается некоторое снижение ИМК. По содержанию главных ИМК (пироба, пикроильменита и хромшпинелидов) как алмазоносные, так и неалмазоносные высокоспутниковые кимберлиты делятся на две группы: 1) с высоким содержанием пикроильменита и пироба, низким – хромшпинелида; 2) с низким содержанием пикроильменита и повышенным пироба и хромшпинелида. Промышленные коренные месторождения алмазов СП принадлежат в основном к высокоспутниковому типу и приурочены к телам центральной части платформы. Алмазоносные высокоспутниковые кимберлиты первой группы присутствуют на СП в МКП (Мир и Дачная), АМКП (Сытыканская и Комсомольская) и ДКП (Удачная, Дальняя и Зарница). Алмазы из этих месторождений варьируют по морфологии от гладкогранных октаэдров (Мир) до комбинационных кристаллов (Удачная и Сытыканская). В высокоспутниковых диатремах *первой группы* пикроильменит преобладает над пиропом. Определённая часть последнего принадлежит к высокохромистой и низкокальциевой разновидности (алмазной ассоциации). Пиробы высокоспутниковых кимберлитов первой группы на СП характеризуются максимальной степенью дифференциации по парагенезисам. В совокупность этого минерала входят пиробы лерцолитового, вебстеритового, дунит-гарцбургитового и верлитового парагенезисов. Содержание пиробов последнего парагенезиса в этих породах повышено по сравнению с алмазоносными кимберлитами других регионов, причём среди них встречаются как высокоалмазоносные (в ассоциации с хромшпинелидом), так и с пониженным количеством хрома (ассоциация с пикроильменитом). Хромшпинелид в высокоспутниковых кимберлитах первой группы присутствует в малых количествах (сотые и даже тысячные доли процента), образуя хорошо индивидуализированные зёрна, многие из которых имеют форму октаэдров, нередко осложнённую вицинальными гранями. Многие зёрна этого минерала принадлежат к высокохромистой разновидности, а среди последних довольно часто

встречаются образования алмазной ассоциации. Размер зёрен пикроильменита варьирует от долей до первого десятка миллиметров, часто достигая выделений размером 5–10 мм в поперечнике. Состав его колеблется в различных диатремах. В кимберлитах МБАР отмечается повышенное количество ферримагнитной разновидности этого минерала со специфическим составом: низким содержанием TiO_2 и MgO и повышенным Fe_2O_3 и Cr_2O_3 . В кимберлитах трубок Удачная, Сытыканская, Дальняя и Зарница отмечена повышенная концентрация хрома в пикроильменитах.

Высокоспутниковые алмазоносные кимберлиты *второй группы* (с низким содержанием пикроильменита) распространены более широко, чем первой. В МКП к ним обносятся трубки Спутник, имени XXIII съезда КПСС и Интернациональная, в АМКП – Айхал и Юбилейная, в ВМКП – Заполярная, Поисковая, Новинка и Комсомольская-Магнитная. Все они характеризуются пониженным (до исчезающего) содержанием пикроильменита, высоким (или умеренным) пиропом, а также повышенным, по сравнению с первой группой, количеством хромшпинелида. Размер зёрен пикроильменита редко превышает 2 мм; он соизмерим с размером зёрен хромшпинелида, в связи с чем в тяжёлой фракции эти два минерала бывает трудно разделить. Алмазоносные и неалмазоносные (слабоалмазоносные) разделяются по составу ИМК. Высокоспутниковые слабоалмазоносные кимберлиты относительно широко распространены в центральных областях (зонах) алмазоносных провинций (кратонов) и также делятся на две группы: с высокими и низкими концентрациями пикроильменита. В МКП первые представлены в трубках Амакинская и дайкой А-21, в ДКП – Ленинградская, Геофизическая, Долгожданная, Украинская и Иксовая, в АМКП – Моркока и Искорка. Кимберлиты этой группы выявлены также в Средне- и Нижне-Оленёкском районах СП. Алмазы в кимберлитах этой группы встречаются относительно редко и представлены в основном ромбододекаэдрами и ромбододекаэдроидами. Пикроильменит – главный ИМК характеризуется широкими концентрациями MgO , TiO_2 и Fe_2O_3 , а в отдельных диатремах и повышенной ролью хрома. Состав пиропов слабоалмазоносных кимберлитов рассматриваемой группы существенно отличается от такого промышленно алмазоносных диатрем. Эти различия заключаются в пониженной средней хромистости этого минерала слабоалмазоносных трубок или в отсутствии (или очень ничтожном количестве) пиропов алмазной ассоциации. Ещё одна особенность пиропов неалмазоносных трубок – слабая дифференцированность по парагенезисам: преобладают пиропы вебстеритового и лерцо-

литового парагенезисов. Не характерны также пиропы верлитового парагенезиса (особенно для трубок северо-востока СП). Что же касается слабоалмазоносных кимберлитов центральных районов СП, то гранаты в них более разнообразны по составу, чем в северо-восточной части платформы. Среди них довольно часто присутствуют высокохромистые разновидности лерцолитового парагенезиса. Хромшпинелид в неалмазоносных кимберлитах первой группы встречается редко и в основном это алюмохромит. Высокохромистые разновидности единичны, а разновидности алмазной ассоциации не встречены вовсе. Высокоспутниковые слабоалмазоносные кимберлиты с низким содержанием пикроильменита (вторая группа) по составу и другим признакам ИМК практически не отличаются от слабоалмазоносных кимберлитов первой группы.

Детальные комплексные исследования алмазов и их ИМК комплексом современных методов с геологической привязкой необходимы и актуальны. Во-первых, это фундаментальные комплексные исследования минералогии, кристаллографии и физических свойств алмазов и твёрдых включений в них для выяснения условий генезиса. Во-вторых, это использование информации, полученной разными методами при комплексном исследовании алмазов, для решения прикладных вопросов, непосредственно связанных с практикой геологоразведочных работ. К ним относится установление связи вещественно-индикационных параметров кимберлитового магматизма различной алмазоносности и геолого-структурного положения кимберлитовых тел, что позволяет установить как региональные, так и локальные типоморфные особенности, а также решить вопрос о коренных источниках алмазов россыпей. Третьим направлением комплекса минералогических исследований алмазов, развивающихся на стыке минералогии и технологии минерального сырья, является разработка рекомендаций, направленных на создание наиболее рациональных схем переработки руды и обеспечивающих кристаллосберегающие технологии, а также уточнение областей применения алмазов с учётом их реальной структуры и физических особенностей и выявление объектов с повышенным качеством алмазного сырья. Выполнение комплекса минералогических исследований алмазов и минералогическое районирование территорий необходимы как для рационального определения направления геологоразведочных работ, так и для повышения их качества и эффективности, что будет способствовать открытию новых месторождений алмазов и интенсификации всех работ, направленных на прирост запасов алмазного сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев В. П., Елисеев А. П., Надолинный В. А.* и др. Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов V и VII разновидностей (по классификации Ю. Л. Орлова) // Вестник Воронежского ун-та. Геология. – 2000. – № 5 (10). – С. 79–96.
2. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н.* Минералогия 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., Коптиль В. И.* Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. – 1998. – Т. 361, № 3. – С. 366–369.
5. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Логинова А. Н.* Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. – 2009. – Т. 138, № 2. – С. 1–13.
6. *Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Тычков С. А.* Проблема алмазоносности Сибирской платформы // Вестник Воронежского госуниверситета. Геология. – 2002. – № 1. – С. 19–36.
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 госуниверситета. Геология. – 2000. – № 3(9). – С. 37–55.
8. *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.
9. *Дукардт Ю. А., Борис Е. И.* Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. – Воронеж: ВГУ, 2000. – 161 с.
10. *Зинчук Н. Н.* Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
11. *Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Яныгин Ю. Б.* Особенности минерализации алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М.: МГТ, 2004. – 172 с.
12. *Зинчук Н. Н., Зуев В. М., Коптиль В. И., Чёрный С. Д.* Стратегия ведения и результаты алмазопроисковых работ // Горный вестник. – 1997. – № 3. – С. 53–57.
13. *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. 18–30.
14. *Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П.* Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
15. *Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В.* Кимберлиты в истории Земли // Труды НИИ геологии ВГУ. Вып. 68. – Воронеж: ВГУ, 2013. – 99 с.
16. *Квасница В. Н., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И.* Типоморфизм микрокристаллов алмаза. – М.: Недра, 1999. – 224 с.
17. *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.
18. *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. Геология. – 2016. – № 3. – С. 86–94.
19. *Мацюк С. С., Зинчук Н. Н.* Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. – М.: Недра, 2001. – 428 с.
20. *Орлов Ю. Л.* Минералогия алмаза. 2-е изд. М.: Наука, 1984. – 264 с.
21. *Симоненко В. И., Толстов А. В., Васильева В. И.* Новый подход к геохимическим поискам кимберлитов на закрытых территориях // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 4–5. – С. 108–112.
22. *Харькив А. Д., Зуенко В. В., Зинчук Н. Н.* и др. Петрохимия кимберлитов. – М.: Недра, 1991. – 304 с.
23. *Хитров В. Г., Зинчук Н. Н., Котельников Д. Д.* Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 296, № 5. – С. 1228–1233.
24. *Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V.* The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // Doklady Earth Sciences. – 2015. – 2015. – V. 465, № 2. – P. 1297–1301.
25. *Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform // Petrology. – 2001. – V. 9, № 6. – P. 576–588.
26. *Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I.* et al. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry // Journal of Geochemical Exploration. – 2002. – V. 76, № 2. – P. 93–112.

REFERENCES

1. *Afanasyev V. P., Yeliseyev A. P., Nadolinnyy V. A.* Mineralogiya i nekotoryye voprosy genezisa almazov V i VII raznovidnosti (po klassifikatsii Yu. L. Orlova) [Mineralogy and some questions of the genesis of diamonds of V and VII varieties (according to the classification of Yu.L. Orlov)], Vestnik Voronezhskogo un-ta. Geologiya, 2000, No. 5 (10), P. 79–96. (In Russ.)
2. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N.* Mineralogiya drevnikh rossypey almazov vostochnogo borta Tungusskoy sineklizy [Mineralogy of ancient diamond placers on the eastern side of the Tunguska syncline], Geologiya i geofizika, 1987, No. 1, P. 90–96. (In Russ.)
3. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N.* Osnovnyye litodinamicheskiye tipy oreolov indikatorykh mineralov kimberlitov i obstanovki ikh formirovaniya [The main lithodynamic types of halos of indicator minerals of kimberlites

- and the setting of their formation], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1999, V. 41, No. 3, P. 281–288. (In Russ.)
4. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Koptil V. I.* Poligenez almazov v svyazi s problemoy korennykh rossypey severo-vostoka Sibirskoy platformy [Polygenesis of diamonds in connection with the problem of bedrock placers in the northeastern Siberian platform], *Doklady Akademii nauk*, 1998, V. 361, No. 3, P. 366–369. (In Russ.)
 5. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Loginova A. N.* Osobennosti raspredeleniya rossypnykh almazov, svyazannykh s dokembriyskimi istochnikami [Features of the distribution of placer diamonds associated with Precambrian sources], *Zapiski Rossiyskogo mineralogicheskogo obshchestva*, 2009, V. 138, No. 2, P. 1–13. (In Russ.)
 6. *Afanasyev V. P., Zinchuk N. N., Tychkov S. A.* Problema almazonosnosti Sibirskoy platformy [The problem of diamond content of the Siberian platform], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta, Geologiya*, 2002, No. 1, P. 19–36. (In Russ.)
 7. *Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G.* Geodinamicheskiy kontrol razmeshcheniya kimberlitovykh poley tsentralnoy i severnoy chastey Yakutskoy kimberlitovoy provintsii (petrokhimicheskiy aspekt) [Geodynamic control of the location of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakutsk kimberlite province (petrochemical aspect)], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta, Geologiya*, 2000, No. 3(9), P. 37–55. (In Russ.)
 8. *Gladkov A. S., Bornyakov S. A., Manakov A. V., Matrosov V. A.* Tektonofizicheskiye issledovaniya pri almazoposkovykh rabotakh. Metodicheskoye posobiye [Tectonophysical research during diamond prospecting], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2008, 175 p. (In Russ.)
 9. *Dukardt Yu. A., Boris Ye. I.* Avlakogenez i kimberlitovyy magmatizm [Avlacogenesis and kimberlite magmatism], Voronezh, VGU publ., 2000, 161 p. (In Russ.)
 10. *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, P. 99–109. (In Russ.)
 11. *Zinchuk N. N., Boris Ye. I., Yanygin Yu. B.* Osobennosti mineragenii almaza v drevnikh osadochnykh tolshchakh (na primere verkhnepaleozoyskikh otlozheniy Sibirskoy platformy) [Peculiarities of diamond minerageny in ancient sedimentary strata (on the example of the Upper Paleozoic deposits of the Siberian platform)], Moscow, MGT publ., 2004, 172 p. (In Russ.)
 12. *Zinchuk N. N., Zuyev V. M., Koptil V. I., Chorny S. D.* Strategiya vedeniya i rezultaty almazoposkovykh rabot [Strategy of conducting and results of diamond prospecting works], *Gornyy vestnik*, 1997, No. 3, P. 53–57. (In Russ.)
 13. *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 prospecting for diamond deposits], *Rudy i metally*, 1999, No. 3, P. 18–30. (In Russ.)
 14. *Zinchuk N. N., Melnik Yu. M., Serenko V. P.* Apokimberlitovyye porody [Apokimberlite rocks], *Geologiya i geofizika*, 1987, No. 10, P. 66–72. (In Russ.)
 15. *Zinchuk N. N., Savko A. D., Kraynov A. V.* Kimberlity v istorii Zemli [Kimberlites in the history of the Earth], *Trudy NII geologii VGU, Is. 68, Voronezh, VGU publ.*, 2013, 99 p. (In Russ.)
 16. *Kvasnitsa V. N., Zinchuk N. N., Koptil V. I.* Tipomorfizm mikrokrystallov almaza [Typomorphism of diamond microcrystals], Moscow, Nedra publ., 1999, 224 p. (In Russ.)
 17. *Kotelnikov D. D., Dombrovskaya Zh. V., Zinchuk N. N.* Osnovnyye zakonomernosti vyvetrivaniya silikatnykh porod razlichnogo khimicheskogo i mineralogicheskogo tipa [Main regularities of weathering of silicate rocks of various chemical and mineralogical types], *Litologiya i poleznyye iskopyayemye*, 1995, No. 6, P. 594–601. (In Russ.)
 18. *Maltsev M. V., Tolstov A. V., Fomin V. M., Starkova T. S.* Novoye kimberlitovoye pole v Yakutii i tipomorfnyye osobennosti yego mineralov-indikatorov [New kimberlite field in Yakutia and typomorphic features of its indicator minerals], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, Geologiya*, 2016, No. 3, P. 86–94. (In Russ.)
 19. *Matsyuk S. S., Zinchuk N. N.* Opticheskaya spektroskopiya mineralov verkhney mantii [Optical spectroscopy of minerals of the upper mantle], Moscow, Nedra publ., 2001, 428 p. (In Russ.)
 20. *Orlov Yu. L.* Mineralogiya almaza [Mineralogy of diamond], 2-ye izd. Moscow, Nauka publ., 1984, 264 p. (In Russ.)
 21. *Simonenko V. I., Tolstov A. V., Vasilyeva V. I.* Novyy podkhod k geokhimicheskim poiskam kimberlitov na zakrytykh territoriyakh [A new approach to geochemical prospecting for kimberlites in closed areas], *Razvedka i okhrana*, 2008, No. 4–5, P. 108–112. (In Russ.)
 22. *Kharkiv A. D., Zuyenko V. V., Zinchuk N. N.* et al. Petrokhimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites], Moscow, Nedra publ., 1991, 304 p. (In Russ.)
 23. *Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotelnikov D. D.* Primeneniye klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonomernostey vyvetrivaniya porod razlichnogo sostava [Application of cluster analysis to elucidate the regularities of weathering of rocks of different composition], *Doklady AN SSSR*, 1987, V. 296, No. 5, P. 1228–1233. (In Russ.)
 24. *Grachanov S. A., Zinchuk N. N., Sobolev N. V.* The age of Predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // *Doklady Earth Sciences*. – 2015. V. 465, No. 2. – P. 1297–1301. (In Russ.)
 25. *Serov I. V., Garanin V. K., Zinchuk N. N., Rotman A. Ya.* Mantle Sources of the kimberlite Volcanism of the Siberian Platform, *Petrology*, 2001, V. 9, No. 6, P. 576–588.
 26. *Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Volkova N. I.* et al. Diamond potential estimation based on Kimberlite major element chemistry, *Jornal of Geochemical Exploration*, 2002. V. 76, No. 2, P. 93–112.