

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 553.231:552.323.6

О некоторых особенностях изучения вторичных минералов кимберлитовых пород

Н.Н. Зинчук, М.Н. Зинчук

Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я)

Мирный, Республика Саха (Якутия), Россия. E-mail: nnzinchuk@rambler.ru

(Статья поступила в редакцию 17.06.2025)

Проведенные исследования показали, что для кимберлитовых диатрем характерны индивидуальные особенности состава основной массы слагающих их пород. Иногда эти различия свойственны не только конкретным трубкам, но даже отдельным телам и блокам. Процессы серпентинизации, карбонатизации, хлоритизации и бруситизации также имеют свои специфические особенности в каждой диатреме. Индивидуальные свойства носят и характерные для основной массы кимберлитов ассоциации вторичных образований, состоящие из двух и более минералов. Облик кимберлитовых пород в диатремах в значительной мере определяется развитием комплекса вторичных минералов, возникших после консолидации пород в результате их эндо- и экзогенных преобразований. Анализ распределения в кимберлитах Сибирской платформы серпентина, флогопита, хлорита, талька, кальцита, доломита, пироаурита, брусита и их ассоциаций позволил рассмотреть условия формирования отдельных новообразований и оценить их роль в образовании индивидуального облика этих алмазосодержащих пород. Отличия последних обусловлены интенсивностью развития и неравномерностью распределения основных вторичных минералов и их разновидностей. Установлено, что кимберлиты в процессе становления претерпели неоднократные изменения, интенсивность которых на разных стадиях формирования диатрем имеет индивидуальный характер и зависит от конкретных условий минералообразования.

Ключевые слова: *кимберлитовые трубки, серпентинизация, карбонатизация, хлоритизация, бруситизация, постмагматические и гипергенные изменения минералов.*

DOI: 10.17072/psu.geol. 24.3.261

Введение

Характерной чертой кимберлитовых тел Сибирской (СП), Восточно-Европейской (ВЕП), Африканской (АП) и других древних платформ мира является значительная изменчивость параметров их вещественного состава. Высокий градиент изменчивости вещественных признаков в объеме кимберлитовых тел во многом связан с полигенностью и гетерохронностью самих слагающих трубки пород, охватывающих диапазон условий образования от верхней мантии, через пневматолитово-гидротермальную стадию до гипергенеза. В целом многообразие происходящих в трубчатых диатремах процессов изменения кимберлитов с некоторой

долей условности можно отнести (Горшков и др., 2002; Зинчук, 2023³⁻⁷; Зинчук и др., 2004; Котельников и др., 2006) к диафторезу. Обычно под последним понимают (Зинчук, Афанасьев, 1998; Зинчук, Борис, 1981; Хитров и др., 1987) регрессивное минералогическое преобразование, происходящее в процессе приспособления магматических и метаморфических пород к новым условиям более низких ступеней метаморфизма. Определяющим фактором диафтореза является масса поступающих в систему минералообразования извне H₂O и CO₂ в процессе регрессивного метаморфизма. Этим условиям соответствуют особенности постмагматического преобразования кимберлитовых пород. Нашими исследованиями показано (Афана-

© Зинчук Н.Н., Зинчук М.Н., 2025



Работа лицензирована в соответствии с CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

сьев и др., 1980; 1998, 2000₁₋₂, 2009; Зинчук, 1991, 1998; Зинчук и др., 1987, 1997; Савко и др., 2003; Afanas'ev et al., 2005), что сложность и контрастность минералогического облика реальных кимберлитовых пород в значительной степени обусловлены развитием комплекса вторичных минералов, слагающих иногда до 95 % пород, превращая их в апокимберлиты. Большое внимание в ряде опубликованных работ (Василенко и др., 2000; Зинчук, 2023₁₋₂; Мацюк, Зинчук, 2001; Kotel'nikov, Zinchuk, 2008) уделено изучению поведения основных *вторичных минералов кимберлитов* в постмагматических и гипергенных условиях. Большинство кимберлитовых тел (трубок, даек и жил) представляют собой породы, в различной степени измененные вторичными процессами. Образовавшиеся при этом постмагматические минералы, возникшие в результате пневматолитово-гидротермальной деятельности, относятся к вторичным новообразованиям (Зинчук, 2014, 2015, 2016, 2024₁₋₄; Котельников, Зинчук, 2001₁₋₂; Serov et al., 2001; Серокуров и др., 2001). Реальный облик кимберлитовых тел в значительной мере определяется развитием комплекса вторичных минералов, возникших после консолидации породы в результате эндо- и экзогенных преобразований. Процесс изучения кимберлитовых пород позволил получить многочисленные сведения о вторичных минералах. В некоторых работах (Зинчук, 2021₁₋₃; Зинчук, Бардухинов, 2022₁₋₃, 2024₁₋₂; Котельников, Зинчук, 2003; Grakhanov et al., 2015) приводилось описание конкретных минералов, встреченных в отдельных трубках, в других освещались узкие вопросы, касающиеся свойств и генезиса вторичных образований (Зинчук, 2017, 2018; Котельников, Зинчук, 1996, 1997; Харьков и др., 1991). Несмотря на разрозненный характер накопленных результатов, они позволили обнаружить многообразие процессов вторичной минерализации и возникших при этом новообразований. Помимо анализа и систематизации материала, нами впервые проведены комплексные исследования вторичных минералов, выполненные с целью решения вопросов как геологического, так и технологического плана. К основным задачам этих исследований следует отнести: а) определение диагностиче-

ских признаков силикатов, карбонатов, оксидов и гидроксидов, сульфидов, сульфатов, галогенидов, фосфатов, боратов; б) выявление наиболее распространенных ассоциаций вторичных минералов в кимберлитовых породах; в) установление факторов, влияющих на постмагматические преобразования кимберлитов; г) обоснование роли вторичных минералов при поисках кимберлитовых трубок и влияния их на технологические особенности переработки кимберлитов. Дальнейшее развитие представлений о процессах вторичного преобразования кимберлитов основано на исследованиях по выявлению закономерностей распределения минераловообразования основной массы кимберлитов трубок Мир, Интернациональная, Удачная, Юбилейная, Сытыканская, Айхал, Ботубинская, Нюрбинская и др. Были получены свидетельства того, что исследованные кимберлиты претерпели в процессе формирования неоднократные изменения (Афанасьев, Зинчук, 1987; Егоров и др., 2003; Зинчук, 2022₁₋₄, 2024₁₋₄; Харьков и др., 1998). Их интенсивность на разных стадиях формирования трубок имеет индивидуальный характер и зависит от конкретных условий минералообразования. Недостаточно изученным направлением в исследовании закономерностей преобразования кимберлитовых пород оставалось определение роли каждого из вторичных минералов, реконструкции последовательности их образования и устойчивости в различных условиях. Для решения этих вопросов проведены детальные комплексные исследования вещественного состава и процессов вторичного минералообразования на каменном материале из кимберлитовых диатрем Мирнинского (МКП), Далдынского (ДКП), Алакит-Мархинского (АМКП), Верхнемунского (ВМКП) и Накынского (НКП) кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции (ЯАП). Особое внимание уделено серпентинам (рис. 1), кальцитам (рис. 2), флогопитам (рис. 3) и продуктам их преобразования (рис. 4) как доминирующим вторичным новообразованиям кимберлитов. Приведенные в данной статье в качестве примера схематические карты (рис. 1–4) построены по трем опорным горизонтам (190, 250, 295 м от уровня мирового океана), по материалам пересчетов хи-

мических анализов (с рентген-дифрактометрическим контролем) проб, отобранных из скважин эксплоразведки, пройденных по восточному и западному телу трубки Удачная по сети 40×40 м. По сути, это плотные (в), в различной степени дезинтегрированные (б) и выветрелые (а) кимберлиты, позволяющие получить представление не только о постмагматических, но и гипергенных преобразованиях пород диатремы (Зинчук, 2022₁₋₄; Мацюк, Зинчук, 2001).

Особенности распределения породообразующих минералов кимберлитов на глубину диатрем проводилось по керну скважин, пробуренных при разведке и эксплоразведке месторождений (рис. 5 а, б). Существенные изменения концентрации породообразующих минералов кимберлитов на глубину диатрем вызваны как различной степенью преобразования пород на тех или иных горизонтах, так и меняющимися соотношениями концентрации минеральных ассоциаций. Так, на глубинах ниже 230 м в восточном теле трубки Удачная (рис. 5 а), как и в отдельных частях некоторых изученных разрезов западного тела (рис. 5 б), отмечена повышенная концентрация слабо измененного оливина. В таких случаях обычно (например, скв. 225, глубины 350–550 м) резко понижается роль серпентина, образуящегося преимущественно за счет изменения оливина. Значительная концентрация доломита зафиксирована в нижних частях (глубины ниже 350 м) отдельных разрезов восточного тела (рис. 5 а), тогда как для пород западного тела (рис. 5 б) доломит является довольно характерным минералом всего изученного разреза трубки Удачная. Следует также отметить, что повышенная концентрация доломита в кимберлитах восточного тела обычно совпадает с участками пород, содержащих значительное количество неизмененного или слабо серпентинизированного оливина. Как в восточном, так и в западном теле на фоне в целом примерно равномерного распределения кальцита по изученным разрезам отмечаются блоки плотных карбонатизированных кимберлитов, в которых резко возрастает роль указанного минерала. Относительное изменение концентрации кальцита и доломита по изученным разрезам в значительной степени связано с неравномерностью серпентиниза-

ции пород, которая неодинакова не только в разных телах, но и по отдельным разрезам, вскрывшим различные участки одного и того же тела. Детально изучены также магнетит, кварц, халцедон, брусит и новообразования класса сульфатов. Одним из результатов исследований стала разработка (Афанасьев и др., 1980, 1998, 2000₁₋₂, Бардухинов, 2021, 2024₁₋₂; Коптиль, 1994) рационального комплекса методов изучения вещественного состава кимберлитов, позволяющего получить количественные оценки содержания вторичных минералов в основной массе породы. Важный итог выполненных работ – рекомендации по возможностям использования вторичных минералов кимберлитов для оценки эрозионного среза кимберлитовых диатрем (Зинчук и др., 2004; Коптиль, 1994; Харьков и др., 1998; Rosen et al., 2002). Предложены различные варианты использования основных закономерностей выветривания силикатных пород, типоморфных свойств и особенностей глин, а также слюдистых минералов в корах выветривания (КВ) и осадочных породах на территории СП. Выполненные исследования позволили в некоторой степени восполнить пробел в изучении кимберлитовых пород, связанный с тем, что петрографические построения производились только для первичных магматических пород, не затронутых процессами вторичного преобразования.

В то же время, как показал наш опыт изучения кимберлитовых пород, нельзя игнорировать процессы их постмагматического преобразования, так как в конечном итоге до 90–95 % объема кимберлитов ЯАП нередко составляют вторичные минералы. Несмотря на полученные новые данные по комплексному исследованию вторичных процессов в кимберлитах и возникающих при этом минералов, их на данном этапе нельзя считать завершенными.

Детальное выяснение характера вторичных преобразований кимберлитов должно быть основной задачей дальнейшего изучения вещественного состава трубок взрыва. Незаслуженно малая роль в этих исследованиях отведена основной массе кимберлитов, которая представлена преимущественно тонкоагрегатной смесью серпентина, карбонатов и флогопита.

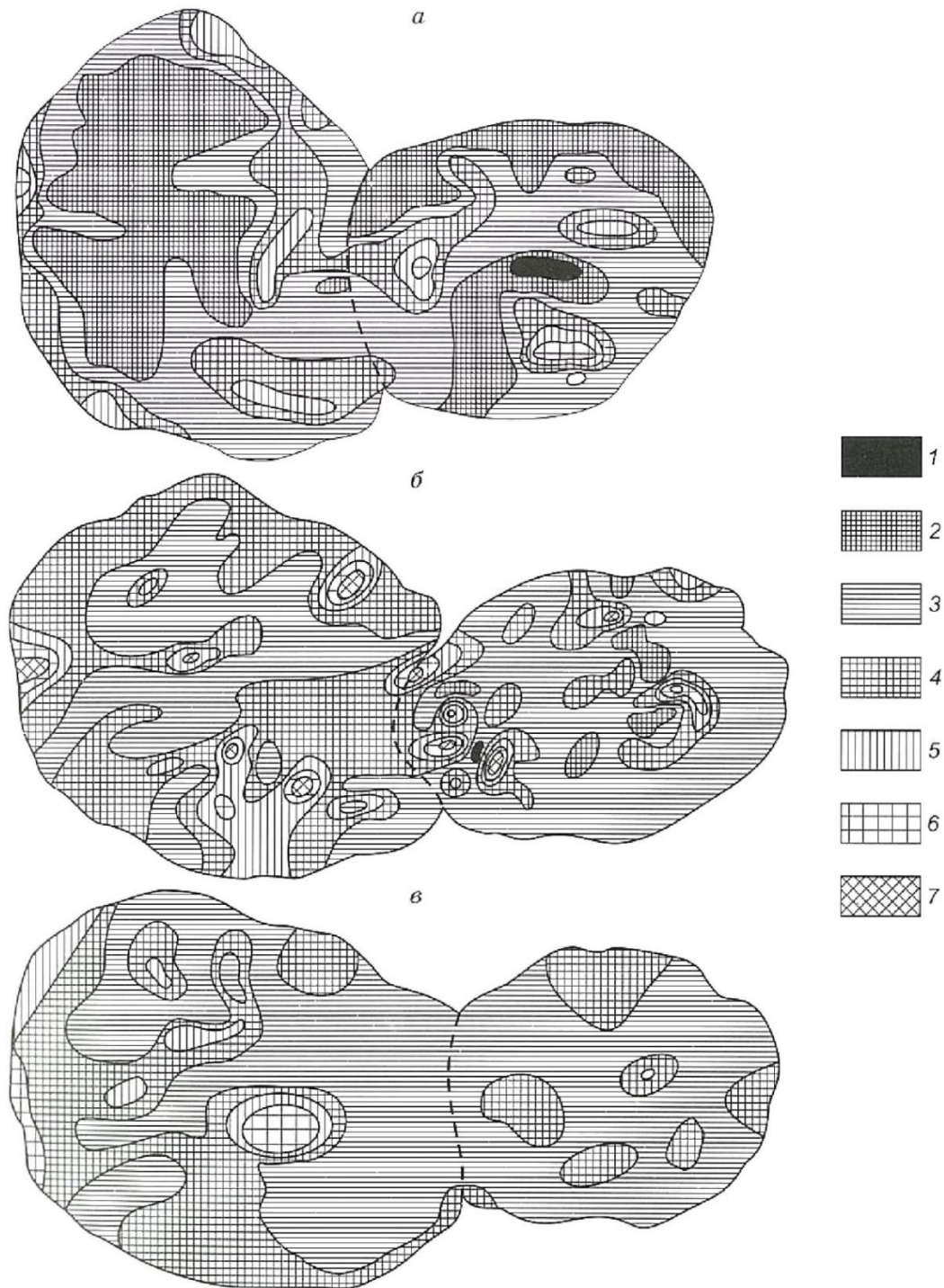


Рис. 1. Распределение серпентина в кимберлитовых породах трубки Удачная (СП): Горизонты (глубины в метрах над уровнем морового океана): а – верхний (295 м), б – средний (250 м), в – нижний (190 м); Концентрации минерала (в %): 1 – >70, 2 – 60–70, 3 – 50–60, 4 – 40–50, 5 – 30–40, 6 – 20–30, 7 – <20

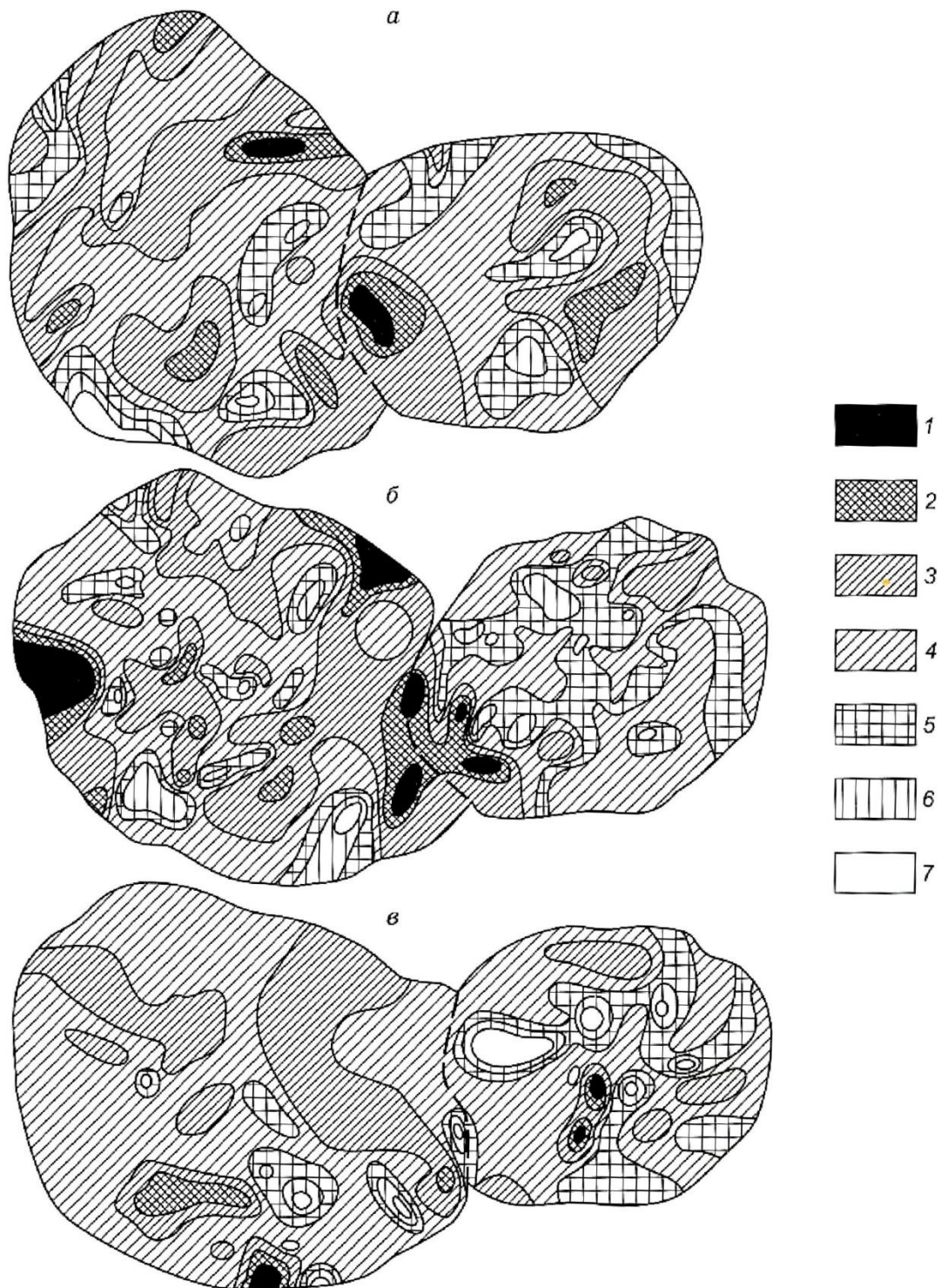


Рис. 2. Распределение кальцита в кимберлитовых породах трубки Удачная (СП):

a–в – смотрите условные обозначения к рис. 1;

Концентрация минерала (в %): 1 – 30–35, 2 – 25–30, 3 – 20–25, 4 – 15–20, 5 – 10–15, 6 – 5–10, 7 – <5

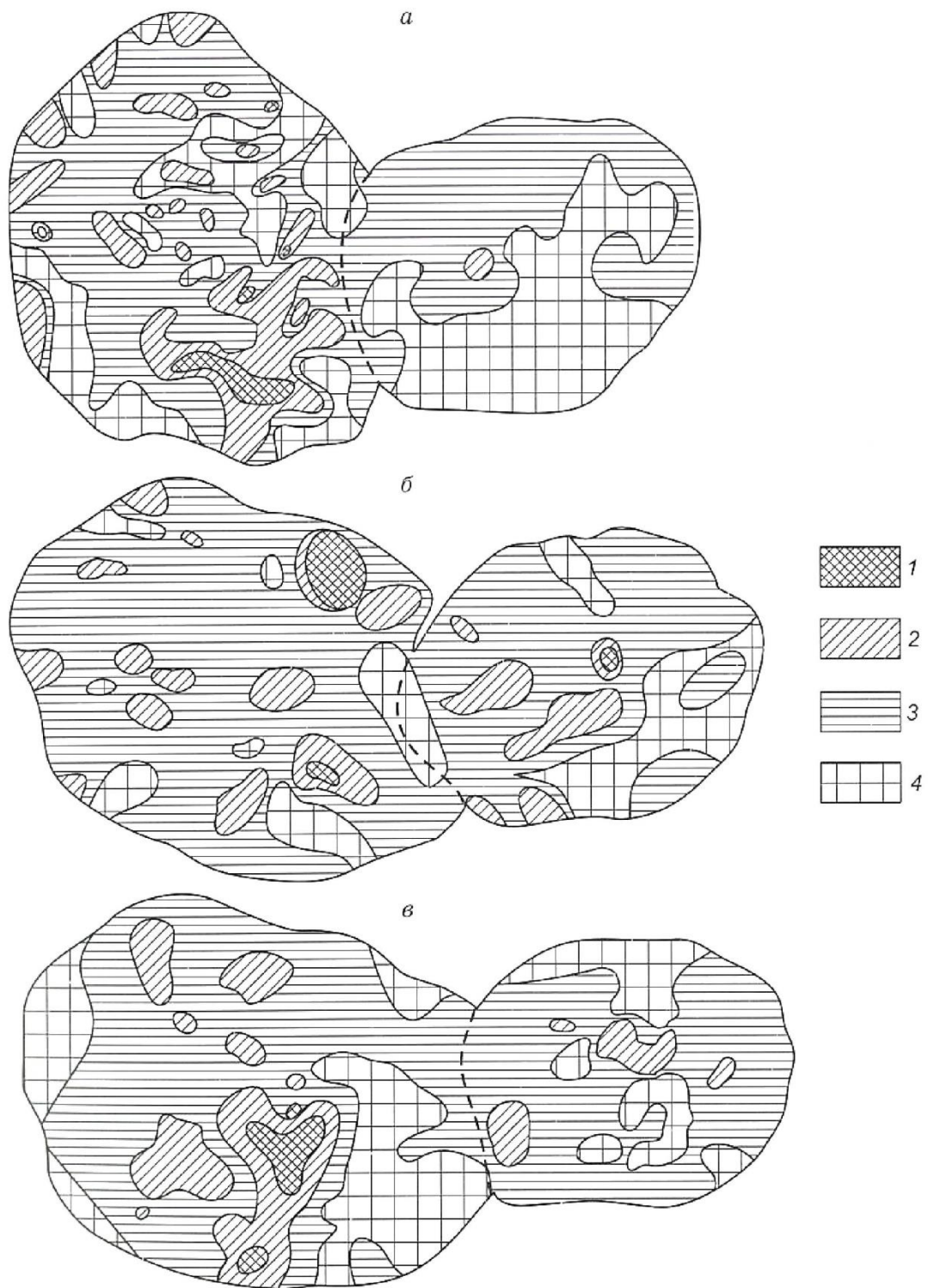


Рис. 3. Распределение флогопита в кимберлитовых породах трубки Удачная (СП):
 а-в – смотрите условные обозначения к рис. 1;
 Концентрации минерала (в %): 1 – >12, 2 – 8–12, 3 – 4–8, 4 – 0–4

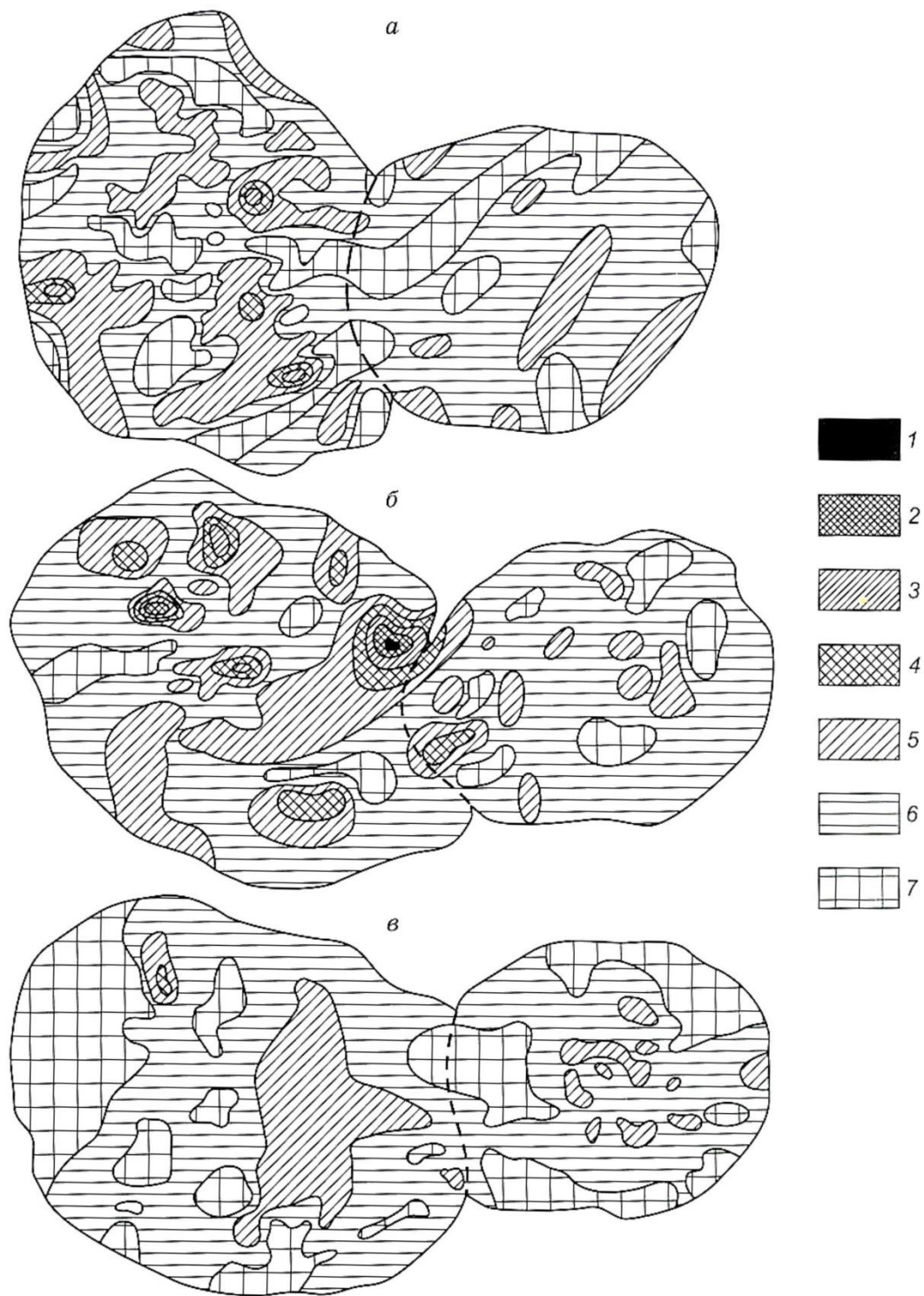


Рис. 4. Распределение хлорита в кимберлитовых породах трубки Удачная (СП):

а-в – смотрите условные обозначения к рис. 1;

Концентрация минерала (в %): 1 – >30, 2 – 25–30, 3 – 20–25, 4 – 15–20, 5 – 10–15, 6 – 5–10, 7 – 0–5

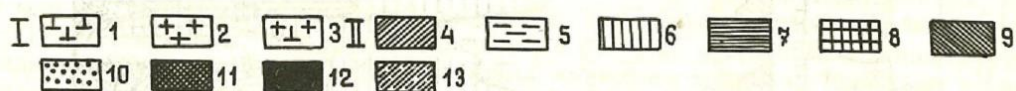
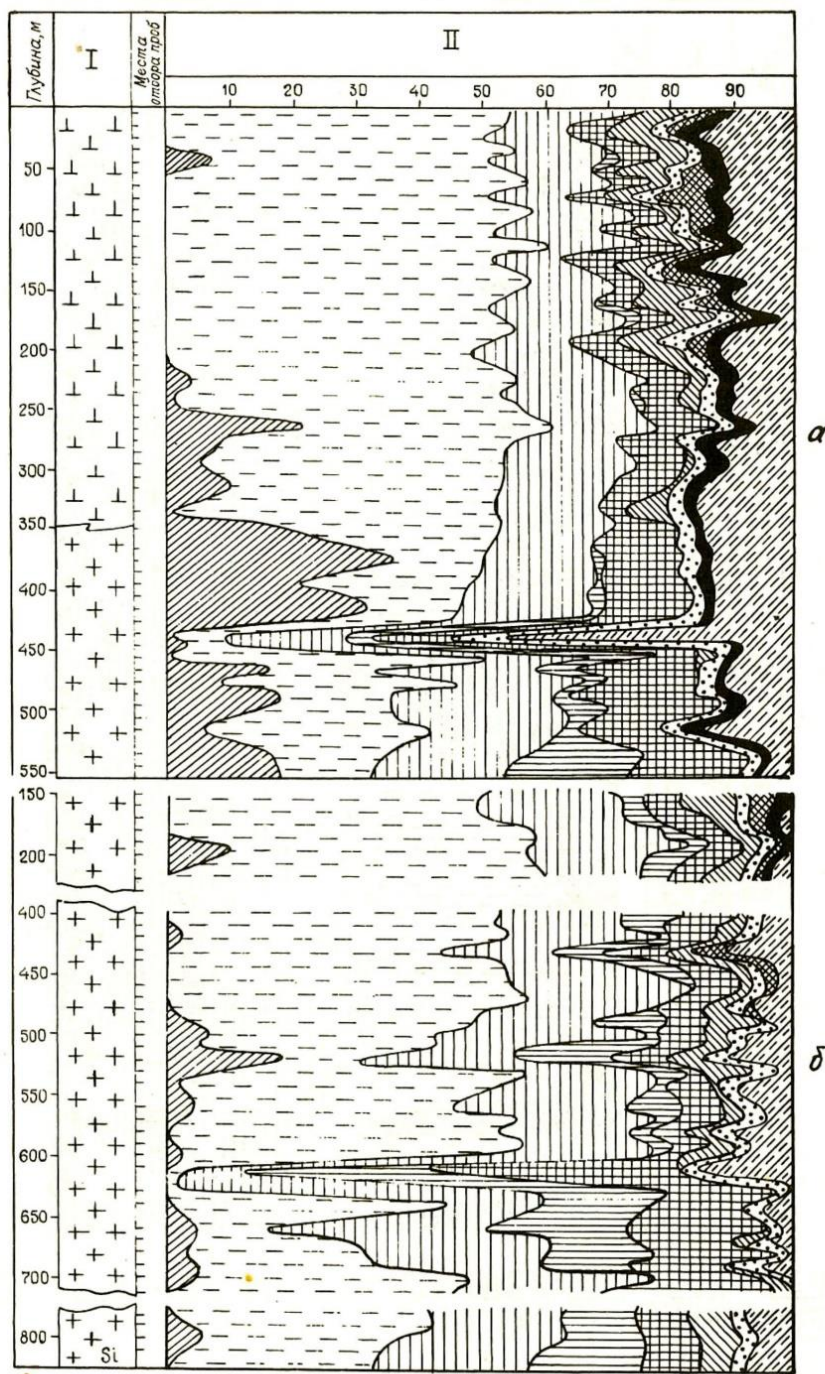


Рис. 5. Распределение преобладающих минералов в основной массе кимберлитов трубки Удачная по разрезам, вскрытым разведочными скважинами 225 (а) и 207 (б):

I – Петрографическая колонка: 1 –порфировый кимберлит первого этапа внедрения, 2 – кимберлитовая брекчия второго этапа внедрения, 3 – то же с автолитами первого этапа внедрения;

II – Минеральный состав, в %: 4 – оливин, 5 –серпентин, 6 – кальцит, 7 – доломит, 8 – флогопит, 9 – хлорит, 10 – оксиды и гидроксиды железа, 11 – брусит, 12 – гипс + галит, 13 – прочие минералы

Особая роль при этом должна отводиться флогопиту и серпентинам, которые отнесены нами (Зинчук, 2015, 2016, 2017, 2024¹⁻⁴; Зинчук и др., 1987, 1997) к индикаторным минералам кимберлитов (ИМК). Их геолого-минералогическое значение обусловлено особенностями слоистой структуры, которая отражает физико-химические условия образования. Кроме того, эти минералы являются главными участниками серпентинизации, карбонатизации и хлоритизации – основных процессов постмагматического преобразования кимберлитовых пород, которые развиваются в каждой диатреме индивидуально. В кимберлитовых породах по-разному протекают процессы привноса-выноса основных породообразующих оксидов (Афанасьев и др., 1998, 2000, 2009; Зинчук, 2021¹⁻³; Котельников, Зинчук, 2001¹⁻²; Хитров и др., 1987; Rosen et al., 2002). Однако пока не в полной мере установлены признаки изменения кимберлитовых пород, которые позволили бы сравнивать различные месторождения и выявлять общие и индивидуальные черты. Для решения этих проблем следует усилить направление структурных исследований минералов с использованием современных физико-химических методик.

На распределение вторичных минералов в кимберлитах влияют (Зинчук, 2021¹⁻³; Зинчук и др., 2004; Rosen et al., 2002) различные факторы. Неравномерность распределения вторичных минералов обусловлена псевдоморфными замещениями. Закономерные изменения связаны с выветриванием и влиянием вмещающих пород. Механизм образования псевдоморфоз серпентина по оливину, а также условия протекания таких реакций подробно рассмотрены нами ранее (Афанасьев и др., 1998, 2000, 2009; Зинчук, 2018; Зинчук, 2022¹⁻³; Мацюк, Зинчук, 2001). При серпентинизации кимберлитов наблюдается псевдоморфное и непсевдоморфное замещение слагающих породу компонентов. Минералы группы серпентина образуются: по основной массе породы; в результате метасоматических преобразований оливина I и II генераций, пироксенов и ксенолитов карбонатных пород; за счет гидротермальных процессов. В свою очередь серпентин основной массы кимберлитов делится (Зинчук, 2023¹⁻⁴; Мацюк, Зинчук, 2001; Харьков и др., 1998)

на две модификации – интерстициальную (заполняющую промежутки между зернами кальцита и других минералов) и псевдоморфную (замещающую карбонаты и другие минералы основной массы). При этом наблюдаемые карбонат-серпентиновые псевдоморфозы по оливину формируются при замещении сначала серпентином, по которому развивается карбонат. Непсевдоморфный серпентин может возникать при повторной переработке кимберлитовых пород. При этом в условиях повышенных температур он должен кристаллизоваться в виде антигорита. В результате неоднократно проявляющихся процессов преобразования кимберлитовых пород происходит (Зинчук, 2023¹⁻⁷; Rosen et al., 2002) полная смена первичных ассоциаций вторичными с образованием нового комплекса минералов. В кимберлитах установлены такие разновидности серпентина, как лизардит и хризотил, кристаллизующиеся в разных физико-химических условиях. Считается, что некоторые разновидности, скорее всего, относятся к шестислойному унститу.

В последнее время в кимберлитовых породах зафиксирована (Зинчук, 2023⁵⁻⁷; Коптиль, 1994; Котельников и др., 2006) такая разновидность серпентиновых минералов, как Al-серпентин, образование и развитие которого в кимберлитах пока слабо изучено. Причины появления и характер распределения этой разновидности серпентинов в кимберлитовых породах требует дополнительных исследований, так как, во-первых, серпентин относится к ИМК, и изучение его типоморфных свойств является важной задачей совершенствования методики поисков алмазных месторождений, во-вторых, процессы изменения Al-серпентина в КВ кимберлитовых пород могут исказить ход закономерных преобразований структуры, свойственной лизардиту и хризотилу. Серпентиновые минералы характерны (Зинчук, 2017, 2018, 2024¹⁻⁴; Харьков и др., 1998) и для кимберлитовых пород АП. Так, для детально изученной нами кимберлитов трубки Катока (Ангола) серпентины из кимберлитовой брекчии верхних частей диатремы представлены лизардитом (Горшков и др., 2002), который характеризуется параметром $b=0,9225$ нм. Четкие рефлексы $20l$, $13l$ на

втором эллипсе электронограмм от текстур соответствуют политипной группе *A* с небольшой примесью группы *D*. Слабые размытые рефлексы 02*l*, 11*l* на первом эллипсе указывают на присутствие структуры 1*T* с нарушениями регулярного чередования слоев. Для лизардитов из более глубоких горизонтов трубки Катока установлена смесь двух политипов 1*T* и 3*R* (при некотором преобладании политипа 1*T*), относящихся к группе *A*. Отмечена структурная неоднородность таких образцов, которая указывает на присутствие в них двух сложных (нестандартных) ортогональных типов лизардита, впервые установленная нами при изучении кимберлитов трубки Катока.

В процессе литолого-минералогического изучения кимберлитовой трубки Катока, рудный столб которой представлен автолитовой кимберлитовой брекчией (АКБ), переходящей в самых верхах в кимберлитовую брекчию на глубине около 300 м, встречен прослой с ассоциацией слоистых минералов, отличающийся от подстилающих и перекрывающих пород. На дифрактометрических кривых пелитовой составляющей из этих образований отмечается интенсивный относительно широкий рефлекс со значением 1,5 нм и более узкие интенсивные отражения 0,730 и 0,364 нм. При насыщении образца глицерином значение первого рефлекса увеличивается до 1,78 нм, и появляется серия более высоких порядков слабой интенсивности – 0,980; 0,591; 0,440; 0,363 ... нм. После прокаливании образца при 580° С на дифрактограммах фиксируется уменьшение значения рефлекса 0,961 нм с возникновением более высоких порядков (0,490; 0,317 нм). Подобный характер дифракционной картины свидетельствует о присутствии в образце разбухающего минерала смектитовой группы. В ИК-спектре образца интенсивные полосы поглощения деформационных колебаний Si-O-Mg(Fe²⁺)-связи с частотой 457–472 см⁻¹ указывают на триоктаэдрический тип слоев, входящих в структуру смешанослойного образования. Повышенное содержание в химическом составе пород MgO, невысокое количество суммарных оксидов Fe и низкое Al указывают на сапонитовую природу смектита. После указанных обработок рефлексы 0,730 и 0,364 нм практически не из-

меняются. Наличие на дифрактограмме воздушно-сухого неориентированного препарата в области 060 рефлекса со значением 0,1539 нм (*b*=0,923 нм) свидетельствует о содержании серпентинового минерала. Согласно положению и интенсивностям на электронограммах отражений с $k=3n$ (20*l* и 13*l*), характеризующихся заметной диффузностью и отсутствием рефлексов с $k\neq 3n$ (02*l* и 11*l*), этот минерал диагностируется как лизардит структурного типа *A*. В низах толщи он ассоциирует с небольшой примесью модификации 1*T* и, возможно, клинохризотила. При этом модификации *A* свойственна полубеспорядочная, а для 1*T* более высокая степень совершенства структуры. Данные ИК-спектроскопии подтверждают присутствие в кимберлитах Анголы ассоциации лизардита с сапонитом. Менее сильная полоса деформационных колебаний Si-O-связи с частотой 942 см⁻¹ относится к серпентину, а с частотой 1020 см⁻¹ – к сапониту. Аналогично этому широкие полосы с частотой 1645 и 3380 см⁻¹ связаны с деформационными и валентными колебаниями молекул H₂O в структуре сапонита, а узкая полоса с частотой 3670 см⁻¹ – с валентными колебаниями OH-групп в структуре серпентина. Присутствие в области 060 менее интенсивного, чем для лизардита, отражения со значением 0,1526 нм (*b*=0,916 нм) указывает на содержание в структуре смешанослойной фазы сапонитовых слоев. Исходя из высот сапонитового (~1,5 нм) и лизардитового (0,730 нм) слоев, в рассматриваемой части разреза, наряду с присутствием собственно лизардита, слои его входят в структуру впервые идентифицированного нами упорядоченного лизардит-сапонитового смешанослойного образования (ЛССО) с общей высотой его кристаллической решетки примерно в 2,2 нм. В литературных данных сведения об идентификации подобного минерала не найдены. Поэтому для уточнения химического состава и кристаллохимического строения ЛССО нами было проведено детальное исследование образца с помощью комплекса аналитических методов исследований.

При исследовании на просвечивающем электронном микроскопе JEM-100C (Япония), оснащенном энергодисперсионным спектрометром Kevex-5100 (США), в иссле-

дованных пробах выделено в основном два типа частиц. Сравнительно широкие пластинки относятся к лизардиту, скопления мелких частиц – к смешанослойной фазе. Микрофракционная картина лизардита, полученная от его пластинчатого микрокристалла с загнутым краем, содержит характерную для этого минерала псевдогексагональную сетку отражения hk и базальные рефлексы $d_{00l}=0,730 \text{ нм}/n$, где n – целые числа. Энергодисперсионные спектры этого минерала включают в основном Si и Mg, а Fe присутствует в нем в сотых долях процента. Мелкие чешуйчатые выделения смешанослойного образования, согласно полученному от них энергодисперсионному спектру с помощью сканирующего микроскопа JSM-5300 (Япония) с приставкой Link-1S1S (Великобритания), кроме Si и Mg содержат небольшое количество Fe, Al и Ca. На микродифракционной картине от загнутых краев частиц этой фазы, с учетом обезвоженного состояния разбухающих минералов в вакууме электронного микроскопа, фиксируются базальные отражения с $d=0,838$ и $0,336 \text{ нм}$. От загнутого края одной из частиц была получена последовательность рефлексов 001 с семью порядками. Анализ этой картины показал, что второе ($d=0,838 \text{ нм}$) и пятое ($d=0,336 \text{ нм}$) отражения выделяются своей интенсивностью, то есть эти отражения на дифрактограмме и микродифракционной картине данных проб четко соответствуют индексам 002 и 005. Для усиления отражений на микродифракционной картине смешанослойного образования она была оцифрована. Было использовано программное обеспечение, реализующее алгоритм Фурье-преобразования с последующей фильтрацией по кольцевой маске. После обратного преобразования было зафиксировано отфильтрованное от шумов изображение, но уже с явно видимыми слабыми рефлексами. Они, относящиеся вместе с сильными отражениями к общей серии 00 l , четко соответствуют упорядоченному чередованию слоев лизардита и сапонита в структуре смешанослойной фазы с периодом $1,68 \text{ нм}$: $1,68$ (001); $0,840$ (002); $0,560$ (003); $0,420$ (004); $0,336$ (005); $0,280$ (006) и $0,240$ (007) нм. Поскольку в основной ассоциации лизардита и смешанослойной фазы, по данным рентгенографии и ИКС,

содержится незначительная примесь сапонита и кальцита, кристаллохимическая формула смешанослойного минерала была рассчитана по результатам полуколичественного анализа, проведенного на микроскопе JSM с приставкой Link-1S1S. Локальный полуколичественный анализ был проведен и усреднен по 10 различным точкам препарата. Это дало возможность установить следующее атомное соотношение элементов в дисперсной части, выделенной из образца: Mg – 21; Si – 18,1; Al – 1,17; Fe – 1; Ca – 0,2; Na – 0,1. Установление формулы смешанослойного минерала сопровождалось определенными трудностями. Это связано с присутствием в образце в виде индивидуальной фазы собственно лизардита. Поэтому сначала по дифрактограммам с использованием коэффициента Бискайя Р. (1965) было установлено, что лизардита в образце в 1,17 раз больше, чем смешанослойной фазы. Анализ полученного химического состава этих двух главных минералов показал, что для них общим элементов является Mg. Это позволило записать следующую пропорцию: $[\text{Mg}_{3-1,17=3,51}]$ -лизардит+ $[\text{Mg}_3$ -лизардит+(Mg, Fe) $_3$ -сапонит] – смешанослойное образование. Сумма $\text{Mg}+\text{Fe}=9,51$. Было сделано допущение, что наибольшее количество Fe, а также Al входит в структуру сапонита. Далее определялось значение коэффициента $\text{Mg}+\text{Fe}=22:9,51=2,313$. Согласно этому коэффициенту оценивалось количество Mg, а связанные с ним Si, Fe и Al распределились в структурных компонентах лизардитовой и сапонитовой частей смешанослойного образования. Его формула в виде двух компонент с соотношением АВАВ... записывается без учета химических элементов мелких примесных фаз в следующем виде: $(\text{Si}_2\text{Mg}_3)[\text{Ca}_{0,25}(\text{Mg}_{2,6}\text{Fe}_{0,4})(\text{Si}_{3,5}\text{Al}_{0,5})]\text{O}_{15}(\text{OH})_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. На основании этой формулы была построена кристаллохимическая модель лизардит-сапонита, где по нормали к слоям упорядоченно чередуются 1:1 слои лизардита и 2:1 сапонита, разделенные межслоевыми промежутками разного типа. Обменные катионы (в основном Ca) и молекулы H_2O в открытых межслоевых промежутках структуры минерала располагаются между двумя смежными тетраэдрическими сетками 1:1 и 2:1 слоев. В межслоевом промежутке, обра-

зованном другой тетраэдрической сеткой 2:1 слоя и октаэдрической 1:1 слоя, действуют водородные связи между атомами Н внешних гидроксильных октаэдрической и $O_{\text{баз}}$ тетраэдрических сеток. Слои 2:1 полярны, их тетраэдрические сетки, примыкающие к октаэдрической и тетраэдрической сеткам 1:1 слоя, различаются по катионному составу – Si и Si, Al соответственно. При толщине 2:1- и 1:1-слоев, а также межслоевого промежутка лизардитового типа, равных 0,665; 0,437; 0,293 нм соответственно, различия в периоде по нормали к слоям исходного (2,2 нм), насыщенного этиленгликолем (2,45 нм) и глицерином (2,52 нм), а также прокаленного (1,68 нм) препаратов определяются толщиной межслоевого промежутка сапонитового типа, равного 0,805; 1,035; 1,125; 0,285 нм соответственно. При этом рассчитанные для предложенной модели структуры значения интенсивностей $I_{\text{отн}}=[\text{Fe}]^2 d_{00l}$ находятся в хорошем согласии с визуально оцененными интенсивностями рефлексов 00l на электронограммах.

В нижней части описываемого разреза породы содержат преимущественно лизардит, который во фракции мельче 0,01 мм в отдельных прослоях не содержит примеси других дисперсных фаз. Этот минерал в условиях постмагматического изменения кимберлитов связан с процессом преобразования одного из протоминералов исходного мантийного материала – оливина. В большей части этой толщи лизардит ассоциирует с сапонитом, являющимся продуктом последовательного изменения серпентина в результате повышения кислотности среды, связанной с взаимодействием кимберлитового материала с вмещающими кислыми породами. В самых верхах АКБ лизардит содержится совместно с упорядоченным ЛССО. В отличие от этого, в отложениях вулканогенно-осадочной толщи серпентин исчезает, и в них присутствует в основном только сапонит с весьма небольшой примесью слюды. Такой характер распределения слоистых минералов по изученному разрезу дает основание сделать вывод, что исходным минералом указанной последовательности на постоливиновой стадии изменения кимберлитов является серпентин. На ранней стадии гипергенно-метасоматического изменения кимберлитов

протекают в основном два процесса. Первый – политипное превращение высокотемпературных разновидностей серпентина в относительно низкотемпературные. Вторым процессом является деградация серпентина с одновременным возникновением серии разбухающих минералов, в первую очередь сапонита, через ряд промежуточных метастабильных смешанослойных образований, из которых впервые идентифицированная упорядоченная разновидность лизардит-сапонита является относительно наиболее устойчивой, как это наблюдается на примере других упорядоченных смешанослойных фаз триоктаэдрического типа, например хлорит-сапонитов и хлорит-вермикулитов.

Петрографическое исследование шлифов по рассмотренному разрезу показывает, что в нижней части изученной толщи в ассоциации слоистых минералов присутствует в основном лизардит политипных модификаций $A+1T$ с примесью клинохризотила. Он замещает изометричные, короткостолбчатые и уплощенные зеленого цвета кристаллы оливина размером 1–3 см. В отдельных частях трубки, где лизардит составляет основную массу породы, он представлен агрегатами тонкозернистых бесцветных и светло-зеленых частиц, имеющих в поляризованном свете серую и светло-серую окраску. Сапонит в этой массе составляет участки более крупнозернистых агрегатов светло-коричневого и светло-серого цвета и характеризуется более высокими интерференционными окрасками. Судя по цвету, он имеет неоднородный химический состав. Одновременно с возникновением за счет оливина указанной последовательности слоистых минералов в изученных породах происходит синтез ряда Fe-содержащих фаз. Начиная с наиболее ранней стадии изменения оливина (т.е. развития по нему лизардита), многие зерна оливина, ильменита и магнетита окружены плотной каймой пылевидных скоплений рудных минералов. Возникновение ЛССО, вероятно, происходило в закрытой системе при низких термобарических параметрах среды и медленно протекающем процессе деструкции первичных и синтезе вторичных минералов. Изолированность системы минералообразования определяла возможность сохранения в ней восстановительных усло-

вий, что сопровождалось перераспределением химических элементов между гипогенными минералами, поровыми растворами и гипергенными новообразованиями. Относительно низкие значения давления и температуры в зоне возникновения лизардитсапонита обусловили значительное содержание в его структуре разбухающих слоев. Невысокая динамика массопереноса вещества в системе минералообразования способствовала тенденции развития упорядоченного чередования неразбухающих и разбухающих слоев в структуре впервые идентифицированного нами смешанослойного минерала. В результате карбонатизации кимберлитов возникают (Зинчук, 2021¹⁻³; Мацюк, Зинчук, 2001; Харьков и др., 1998) такие распространенные минералы, как кальцит, доломит и пироаурит. Кристаллизация кальцита в кимберлитах связана с различными процессами формирования кимберлитовых тел. Минерал по способу образования разделяется на кальцит, слагающий основную массу, метасоматический кальцит – продукт карбонатизации некоторых минералов кимберлитов и поздний гидротермальный кальцит, выполняющий пустотно-трещинные выделения. Кальцит относится к полигенным минералам кимберлитов, всестороннее исследование которых может дать новую информацию о природе и специфике процессов формирования минерала на разных этапах становления породы. Кроме того, в числе открытых или дискуссионных остаются вопросы об устойчивости и равновесности минерального состава кальцитсодержащих ассоциаций. Вопрос о том, являются ли они закономерным продуктом кристаллизации той или иной стадии кимберлитобразования или представляют собой случайные неравновесные ассоциации нескольких постмагматических стадий этого процесса, требует дополнительного изучения. Доломит в кимберлитах ЯАП образует мелкозернистые агрегаты и ассоциирует с кальцитом и серпентином. Согласно классическим представлениям о закономерностях кристаллизации доломита, катализаторами образования этих минералов является присутствие различных солей и сульфатов. Пироаурит развивается в основной массе кимберлитов, в псевдоморфозах по оливину, в ксенолитах различных пород, а

также наблюдается в прожилках. Иногда он является характерным минералом основной массы кимберлитов, образуя блоки в различных коренных месторождениях алмазов.

Таким образом, характер и интенсивность развития вторичных минералов в кимберлитовых породах СП показывают разнообразие процессов карбонатизации и хлоритизации, но не раскрывают всех их особенностей, связанных с образованием серпентинов и флогопитов. Последние относятся к ИМК, имеющим слоистую структуру, способную отражать условия их образования, и дают возможность использовать их и для анализа постмагматического преобразования кимберлитовых пород. Поскольку полуколичественных характеристик содержания минералов в кимберлитах недостаточно для выявления индивидуальных черт различных месторождений, важным становится установление структурных особенностей минералов (серпентинов, слюдистых образований и др.) кимберлитов. Это позволяет также выявлять и отмечаемые ранее структурные характеристики этих минералов, связанные или с их структурно-морфологическими, или с видовыми особенностями. Так, серпентиновые минералы в кимберлитах представлены в основном лизардитом, хризотилом и Al-серпентином (септохлоритом). Признано, что серпентинизация оливина происходит при температурах (не выше 500° С) даже при высоких давлениях. При этом лизардит образуется при температуре 400–500° С, а хризотил – при более низких температурах. Большое значение на течение этого процесса имеет рН-условий среды. Проведенными экспериментальными исследованиями процессов серпентинизации установлено, что в кислой среде большая часть оливина замещается лизардитом, в кремнесодержащей щелочной – антигоритом и хризотилом, в нейтральной – лизардитом и хризотилом. Судя по этим и другим минералам, для кимберлитов отмечается закономерное изменение среды метасоматизирующих растворов от кислой через нейтральную до щелочной. Различные кимберлитовые поля СП существенно различаются по содержанию отдельных разностей серпентинов. Так, наиболее часто Al-серпентин встречается в трубках ДКП, постепенно снижаясь в диатремах

в направлении от ВМКП, МКП, НКП до АМКП. Наибольшие концентрации минерала отмечены в кимберлитах трубок Зарница и Фестивальная, где он диагностирован в 70 % изученных проб. На примере трубок Ботубинская, Нюрбинская, Заполярная и Айхал выявлена тенденция к последовательному увеличению количества проб, содержащих Al-серпентин при переходе от порфировых кимберлитов к автолитовым кимберлитовым брекчиям и далее к кимберлитовым туфобрекчиям. Однако в отдельных диатремах одни и те же типы пород, относящиеся к разным диатремам, могут существенно различаться по степени распространения Al-серпентина. Многократная смена рН-условий среды в период становления кимберлитов является основной причиной развития дефектов в структуре серпентинов. Количество серпентинов с низкой, средней и высокой степенью дефектности может в определенной мере характеризовать уровень стабильности постмагматических преобразований кимберлитов. Наиболее часто дефектные серпентины встречаются в основной массе кимберлитов трубок Айхал (Алакит-Мархинское поле) и Нюрбинская (Накынское поле). Эти месторождения подобны по степени распространения Al-серпентина, но существенно отличаются по уровню развития лизардита и хризотила. Так, в основной массе кимберлитов трубки Айхал преобладает хризотил, в то время как в диатреме Нюрбинская более развит лизардит.

Проведенными исследованиями показано, что для каждой кимберлитовой диатремы отмечается доминирование индивидуального характера развития минералов над их общими свойствами, главным среди которых является преобладание серпентин-кальцитовых, кальцит-серпентиновых, хлорит-серпентиновых ассоциаций и уровень распространения Mg-Fe-разновидностей флогопита в основной массе кимберлитовых пород. Отличие кимберлитовых тел обусловлено интенсивностью развития и равномерностью распределения доминирующих вторичных минералов и их разновидностей. Существуют отличия в составе основной массы и вторичных минералов кимберлитов не только в разных трубках, но и в плане их отдельных тел и даже блоков. Охарактеризованы

наиболее распространенные в кимберлитовых породах ассоциации новообразований, состоящие из двух и более минералов, большинство из которых являются парагенетическими, что позволило решить некоторые вопросы их постмагматического преобразования. Обширный материал минералогопетрологических исследований кимберлитовых пород позволил установить, что процессы серпентинизации, карбонатизации, хлоритизации и бруситизации в каждой диатреме имеют индивидуальный характер. Важными результатами проведенных исследований являются рекомендации по возможностям использования вторичных минералов кимберлитов для определения величины эрозионного среза диатрем. Предложены также различные варианты использования основных закономерностей выветривания силикатных пород, типоморфных особенностей глинистых и слюдистых минералов в древних корках выветривания на образованиях различного генезиса и состава. Получены новые данные о свойствах флогопита и продуктов его твердофазовых превращений (хлорита), что имеет важное значение для совершенствования методики прогнозирования и поисков алмазных месторождений. Для совершенствования методики и повышения эффективности технологии обогащения кимберлитов, а также извлечения из них полезного компонента рекомендовано использовать установленные особенности вещественного состава пород, получаемые в результате предварительного минералогического картирования, позволяющего делать прогнозную оценку руд. Важно при этом использовать структурно-морфологические и физические свойства как породообразующих, так и сравнительно редко встречающихся в кимберлитовых породах минералов. В частности, установлено широкое распространения в кимберлитах СП пирроаурита и брусита, наиболее характерное для глубоких горизонтов коренных алмазных месторождений, где минералы нередко являются породообразующими компонентами. Учитывая большую роль этих минералов в процессе технологической отработки месторождений, вопросам изучения пирроауритизации и бруситизации кимберлитовых диатрем следует уделять пристальное внимание. Не менее

важными являются задачи по изучению процессов серпентинизации, хлоритизации и карбонатизации, приводящих к изменению физико-механических свойств пород, которые в последующем влияют на состав шихты и извлекаемость из нее полезного компонента.

Следует отметить важность возникновения на ранней стадии гипергенно-метасоматического изменения кимберлитов в условиях африканского тропического климата новообразований в направлении двух процессов. Первый – политипное превращение высокотемпературных разновидностей серпентина в относительно низкотемпературные. Второй процесс представляет собой деградацию серпентина с одновременным возникновением серии разбухающих минералов, в первую очередь сапонита, через ряд промежуточных метастабильных смешанослойных образований, из которых впервые идентифицированная упорядоченная разновидность лизардит-сапонита является относительно наиболее устойчивой, как это наблюдается на примере других упорядоченных смешанослойных фаз триоктаэдрического типа (например, хлорит-сапонитов и хлорит-вермикулитов). Возникновение упорядоченного ЛССО, вероятно, происходило в закрытой системе при низких термобарических параметрах среды и медленно протекающем процессе деструкции первичных и синтезе вторичных минералов. Изолированность системы минералообразования определяла возможность сохранения в ней восстановительных условий, что сопровождалось перераспределением химических элементов между гипогенными минералами, поровыми растворами и гипергенными новообразованиями. Относительно низкие показатели давления и температуры в зоне возникновения лизардит-сапонита обусловили значительное содержание в его структуре разбухающих слоев. Невысокая динамика массопереноса вещества в системе минералообразования способствовала тенденции развития упорядоченного чередования неразбухающих и разбухающих слоев в структуре идентифицированного нами впер- вые смешанослойного минерала.

Для совершенствования методики поисков алмазных месторождений большое значение имеет как исследование процессов хлоритизации кимберлитов, так и изучение особенностей флогопитов. Это связано с тем, что образование хлорита относится к твердофазовым прекращением, когда структура возникающего минерала сохраняет строение трехэтажного слоя исходного флогопита. В кимберлитах флогопит относится к одним из наиболее распространенных минералов и представлен в основном поздне- и постмагматической генерациями. Несмотря на широкое распространение флогопита, он изучен недостаточно, хотя некоторые вопросы взаимоотношения поздне- и постмагматического флогопита в кимберлитах рассмотрены раньше. Нами отмечен факт обогащения железистой слюдой контактов с карбонатными ксенолитами и высказано предположение, что развитие постмагматического флогопит происходит не повсеместно, а лишь в породах, обогащенных алюминием и калием, которые чаще распространены в периферийных зонах кимберлитовых проявлений. Следует при этом отметить, что существует круг нерешенных проблем, связанных с выявлением индивидуальных и общих свойств процессов серпентинизации, карбонатизации и хлоритизации, протекающих в кимберлитовых месторождениях. Одним из способов решения этих проблем является анализ развития в основной массе кимберлитов серпентин-карбонатных ассоциаций и таких индикаторных минералов, как флогопит и серпентин, а также продуктов их изменения. Предпосылкой для решения этих задач является обширный фактический материал, полученный нами в результате комплексного изучения вторичных минералов основной массы кимберлитов, и структурные исследования серпентинов и флогопитов. Статистический анализ распределения в основной массе кимберлитов серпентин-карбонатных ассоциаций, серпентинов и флогопитов с определенными структурными характеристиками позволит обоснованно сравнивать различные алмазные месторождения древних платформ мира.

Библиографический список

- Афанасьев В.П., Елисеев А.П., Надолинный В.А., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Рылов Г.М., Томиленко А.А., Горяйнов С.В., Юрьева О.П., Сонин В.М., Чепуров А.И.* Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов У и УП разновидностей (по классификации Ю.Л. Орлова) // Вестник Воронежского государственного университета. Геология. 2000₁. № 5. С. 79–97.
- Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н.* Минералогия древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 1987. № 1. С. 90–96. EDN: QVACDV
- Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Харьков А.Д., Соколов В.Н.* Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород // Минералогия зоны гипергенеза. М.: ИГЕМ АН СССР, 1980. С. 45–54. EDN: JGGOVS
- 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. 2000₂. Т. 41, № 12. С. 1729–1741.
- 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. Серия Геология. 2000. № 9. С. 37–55. EDN: RPSMGF
- Горшков А.И., Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д., Шлыков В.Г., Жухлистов А.П., Мохов А.В., Сивцов А.В.* Новый упорядоченный смешанослойный минерал лизардит-сапонит из кимберлитов Южной Африки // Доклады Академии наук. 2002. Т. 382, № 3. С. 374–378.
- Егоров К.Н., Зинчук Н.Н., Мишенин С.Г., Серов В.П., Секерин А.П., Галенко В.П., Денисенко Е.П., Барышев А.С., Меньшагин Ю.В., Кошкарев Д.А.* Перспективы коренной и россыпной алмазоносности Юго-Западной части Сибирской платформы // Геологические аспекты минерально-сырьевой базы Акционерной компании «АЛРОСА»: современное состояние, перспективы, решения. Дополнительные материалы по итогам региональной научно-практической конференции «Актуальные проблемы геологической отрасли АК «АЛРОСА» и научно-методическое обеспечение их решений», посвященной 35-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». Мирный: МГТ, 2003. С. 50–84.
- Зинчук Н.Н.* Особенности состава и распределения слюдястых образований в кимберлитовых породах Якутии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1991. № 7. С. 58–66.
- Зинчук Н.Н.* Влияние вторичных минералов на облик и состав кимберлитовых пород // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 12. С. 1704–1715. EDN: BRMQFE
- Зинчук Н.Н.* Опыт литолого-минералогических исследований древних осадочных толщ в связи с алмазопоисковыми работами (на примере Сибирской платформы) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2014. № 1. С. 13–19. EDN: SCWWNH
- Зинчук Н.Н.* Особенности строения и состава коры выветривания на туфогенных образованиях в алмазоносных регионах Сибирской платформы // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2015. Т. 90, № 4. С. 42–52. EDN: VOMRKF
- Зинчук Н.Н.* Об основных геолого-поисковых обстановках при прогнозировании кимберлитовых трубок // Наука и образование. 2016. № 4 (84). С. 7–15. EDN: XYFZCP
- Зинчук Н.Н.* Особенности алмазоносности разных фаз внедрения кимберлитов // Отечественная геология. 2017. № 1. С. 105–114. EDN: XXBHUP
- Зинчук Н.Н.* Особенности минералов слюд в кимберлитах // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2018. № 2. С. 29–39. EDN: OUUVQIV
- Зинчук Н.Н.* Типоморфные свойства индикаторных минералов кимберлитов и их использование при прогнозировании месторождений алмаза на Сибирской платформе // Отечественная геология. 2021₁. № 2. С. 41–56. DOI: 10.47765/0869-7175-2021-10012 EDN: QRKFXO
- Зинчук Н.Н.* Докембрийские источники алмазов в россыпях фанерозоя // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2021₂. № 3. С. 50–59. DOI: 10.17308/geology.2021.3/3650 EDN: ZDMMGD
- Зинчук Н.Н.* Геологические исследования при поисках алмазных месторождений // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2021₃. № 4. С. 35–52. DOI: 10.17308/geology.2021.4/3789 EDN: IOPJBX
- Зинчук Н.Н.* Роль петролого-минералогических и геохимических исследований в оценке потенциальной алмазоносности кимберлитов // Отечественная геология. 2022₁. № 1. С. 59–70. DOI: 10.47765/0869-7175-2022-10004 EDN: SRCTHO

Зинчук Н.Н. Коры выветривания и их роль в формировании посткимберлитовых осадочных толщ // Руды и металлы. 2022₂. № 2. С. 100–120. DOI: 10.47765/0869-5997-2022-10013 EDN: IWCRKE

Зинчук Н.Н. Кремнистые минералы в кимберлитах // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2022₃. № 4. С. 38–52. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2022/4/38-52 EDN: RDQLZN

Зинчук Н.Н. Особенности петрографического изучения кимберлитовых пород // Отечественная геология. 2022₄. № 6. С. 34–49. DOI: 10.47765/0869-7175-2022-10033 EDN: PPSSIG

Зинчук Н.Н. О геохимических особенностях разновозрастных образований алмазоперспективных территорий // Отечественная геология. 2023₁. № 1. С. 46–69. DOI: 10.47765/0869-7175-2023-10004 EDN: MRJBXU

Зинчук Н.Н. Литолого-стратиграфические исследования при алмазопромышленных работах // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия Науки о Земле. 2023₂. № 1 (29). С. 5–28. DOI: 10.25587/SVFU.2023.29.1.009 EDN: HOJSSP

Зинчук Н.Н. Особенности гидротермального и гипергенного изменения слюдяных кимберлитов // Вестник Пермского университета. Геология. 2023₃. Т. 22, № 1. С. 32–50. DOI: 10.17072/psu.geol.22.1.32 EDN: BHFYYC

Зинчук Н.Н. Сульфаты в кимберлитовых породах // Отечественная геология. 2023₄. № 2. С. 56–72. DOI: 10.47765/0869-7175-2023-10009 EDN: TEILOE

Зинчук Н.Н. Особенности кальцита из кимберлитовых пород // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2023₅. № 2. С. 28–43. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2023/2/28-43 EDN: LFWRPO

Зинчук Н.Н. О геолого-поисковых типах кимберлитовых трубок // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2023₆. № 2 (60). С. 43–56. DOI: 10.19110/1994-5655-2023-2-43-56 EDN: MRAHKV

Зинчук Н.Н. Особенности сульфидов в кимберлитовых породах // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2023₇. № 4. С. 47–62. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2023/4/47-62 EDN: EVHJRR

Зинчук Н.Н. О некоторых особенностях региональной поисковой алмазной минералогии // Вестник Пермского государственного университета. Геология. 2024₁. Т. 23, № 2. С. 152–172. DOI: 10.17072/psu.geol.23.2.152 EDN: HGOMKL

Зинчук Н.Н. Геолого-тектоническое строение и особенности развития Сибирской платформы в

связи с алмазопромышленными работами // Отечественная геология. 2024₂. № 3. С. 43–72. DOI: 10.47765/0869-7175-2024-10014 EDN: BVMOOI

Зинчук Н.Н. Особенности магнетита из кимберлитовых пород // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2024₃. № 3. С. 32–47. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2024/3/32-47 EDN: IVAFBS

Зинчук Н.Н. Об особенностях некоторых индикаторных минералов кимберлитовых пород // Вестник Пермского государственного университета. Геология. 2024₄. Т. 23, № 4. С. 352–376. DOI: 10.17072/psu.geol.23.4.352 EDN: BCLLYX

Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П. Генетические типы и основные закономерности формирования алмазосыпных россыпей // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1998. № 2. С. 66–71.

Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. О специфике изучения алмаза при прогнозно-поисковых работах (на примере Сибирской платформы) // Руды и металлы. 2021. № 3. С. 59–75. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10018 EDN: NBNXJG

Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. Алмазы из низкопродуктивных кимберлитов // Руды и металлы. 2022₁. № 1. С. 77–93. DOI: 10.47765/0869-5997-2022-10004 EDN: BDFGRY

Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. О специфике докембрийских источников алмазов в россыпях // Вестник Пермского университета. Геология. 2022₂. Т. 21, № 2. С. 149–166. DOI: 10.17072/psu.geol.21.2.149 EDN: WVRXHN

Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. Алмазы из полупромышленных кимберлитов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2022₃. № 2. С. 32–45. DOI: 10.17308/geology.2022.2/9277 EDN: PUYMNH

Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. Сравнительные особенности алмазов из кимберлитовых месторождений северной части Сибирской платформы // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия Науки о Земле. 2024₁. № 1 (33). С. 11–30. DOI: 10.25587/2587-8751-2024-1-11-30 EDN: WLARLI

Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. Особенности состава и формирования россыпей алмазов в краевых частях древних платформ (на примере северо-востока Сибирской платформы) // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2024₂. № 3 (69). С. 64–76. DOI: 10.19110/1994-5655-2024-3-63-75 EDN: OBCPXO

Зинчук Н.Н., Борис Е.И. О концентрации продуктов переотложения кор выветривания в верхнепалеозойских осадочных толщах восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и гео-

физика. 1981. № 8. С. 22–29. EDN: WRZFGW

Зинчук Н.Н., Борис Е.И., Яныгин Ю.Б. Особенности минерации алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). Мирный: МГТ, 2004. 172 с.

Зинчук Н.Н., Зуев В.М., Коптиль В.И., Чёрный С.Д. Стратегия ведения и результаты алмазопоисковых работ // Горный вестник. 1997. № 3. С. 53–57.

Зинчук Н.Н., Мельник Ю.М., Серенко В.П. Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. 1987. Т. 28, № 10. С. 66–72. EDN: JYUXNX

Коптиль В.И. Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Новосибирск: Институт геологии и минералогии СО РАН, 1994. 25 с. EDN: ZKYWCV

Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдяных минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1996. № 1. С. 53–61. EDN: QCHMGO

Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Особенности глинистых минералов в отложениях различных осадочных формаций // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1997. № 2. С. 53–63. EDN: LEVSHY

Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в отложениях терригенной формации // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2001₁. Т. 76, № 1. С. 45–53.

Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Кристаллохимические и структурные особенности глинистых минералов в корях выветривания в зависимости от типа исходных пород // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический. 2001₂. Т. 76, № 3. С. 69–79.

Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н. Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратиферу // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. 2003. № 2. С. 57–68. EDN: RJCVBV

Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н., Кузьмин В.А. Морфогенетические разновидности каолинита в корях выветривания и осадочном чехле земной коры. Статья I. Механизм образования каолинита

в корях выветривания различных петрохимических типов пород // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2006. № 5. С. 19–25. EDN: HUATYJ

Мацюк С.С., Зинчук Н.Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. 428 с.

Савко А.Д., Зинчук Н.Н., Шевырёв Л.Т., Ильин В.В., Афанасьев Н.С. Алмазоносность Воронежской антеклизы // Труды НИИГ Воронежского ун-та. 2003. Т. 17. 121 с.

Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М. Космические методы при прогнозировании и поисках месторождений алмазов. М.: Недра, 2001. 198 с. ISBN: 5-8365-0091-6 EDN: CIDUYM

Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с. ISBN: 5-247-03705-7 EDN: ПУУНК

Харьков А.Д., Зуенко В.В., Зинчук Н.Н., Крючков А.И., Уханов А.В., Богатых М.М. Петрохимия кимберлитов. М.: Недра, 1991. 304 с.

Хитров В.Г., Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д. Применение кластер-анализа для выяснения закономерностей выветривания пород различного состава // Доклады Академии наук СССР. 1987. Т. 296, № 5. С. 1228–1233.

Afanas'ev V.P., Griffin V.L., Natapov L.M., Zinchuk N.N., Matukhin R.G., Mkrytch'yan G.A. Diamond prospects in the Southwestern flank of the Tungusk syncline // Geology of ore Deposits. 2005. Vol. 47, No. 1. P. 45–62. EDN: LJHZD

Grakhanov S.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V. The age of predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform // Doklady Earth Sciences. 2015. Vol. 465, No. 2. P. 1297–1301. DOI: 10.1134/S1028334X15120193 EDN: WQC-COD

Kotel'nikov D.D., Zinchuk N.N. Comparative analysis of clay Mineral evolution under the conditions of humid and arid lithogenesis // Russian Geology and Geophysics. 2008. Vol. 49, No. 10. P. 121–144. DOI: 10.1016/j.rgg.2008.01.009 EDN: LKYXMT

Rosen O.M., Serenko V.P., Spetsius Z.V., Manakov A.V., Zinchuk N.N. Yakutian kimberlite province: Position in the Siberian craton and composition of the upper and lower crust // Geologiya and Geofizika. 2002. Vol. 43, No. 1. P. 3–26. EDN: JFGKFR

Serov I.V., Garanin V.K., Zinchuk N.N., Rotman A.Ya. Mantle sources of the kimberlite volcanism of the Siberian platform. Petrology. 2001. Vol. 9, No. 6. P. 576–588. EDN: LGWMTT

Some Features of the Study of Secondary Minerals of Kimberlite Rocks

N. N. Zinchuk, M. N. Zinchuk

West-Yakutian Scientific Centre of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia),
Mirnyy, Republic of Sakha (Yakutia), Russia. E-mail: nnzinchuk@rambler.ru

The conducted studies have shown that kimberlite diatremes are characterized by individual features of the composition of the main mass of the rocks that compose them. Sometimes composition differences are characteristic not only of specific pipes, but even of individual bodies and blocks. The processes of serpentinization, carbonatization, chloritization and brucitization also have their own specific features in each diatreme. Individual properties are also characteristic of the main mass of kimberlites of secondary formations, consisting of two or more minerals. The appearance of kimberlite rocks in diatremes is largely determined by the development of a complex of secondary minerals that arose after the consolidation of rocks because of their endo- and exogenous transformations. The analysis of distribution of serpentine, phlogopite, chlorite, talc, calcite, dolomite, pyroaurite, brucite and their associations in kimberlites of the Siberian platform allowed us to consider the conditions of formation of individual new formations and to assess their role in the formation of the individual appearance of these diamond-bearing rocks. The differences of the latter are due to the intensity of development and uneven distribution of the main secondary minerals and their varieties. It was established that kimberlites underwent repeated changes during their formation, the intensity of which at different stages of diatreme formation has an individual character and depends on the specific conditions of mineral formation.

Key words: *kimberlites pipes; serpentinization; carbonatization; chloritization; brucitization; postmagmatic and hypogene mineral changes.*

Reference

- Afanasyev V.P., Yeliseev A.P., Nadolinny V.A., Zinchuk N.N., Koptil V.I., Pilov G.M., Tomilenko A.A., Goryanov S.V., Yurieva O.P., Sonin V.M., Chepurov A.I. 2000. Mineralogiya i nekotorye voprosy genezisa almazov V i VII raznovidnostey (po klassifikatsii Yu.L. Orlova) [Mineralogy and some issues of variety V and VII diamonds genesis (by classification of Yu.L.Orlov)]. Vestnik Voronezhskogo universiteta. Geologiya. 5(10):79-96. (in Russian)
- Afanasyev V. P., Zinchuk N. N. 1987. Minerageniya drevnykh rossypey almazov vostochnogo borta Tunguskoj sineklizy [Minerageny of ancient diamond placers of the eastern edge of the Tunguska syncline]. Geologiya i geofizika, 1:90-96. (in Russian)
- Afanasyev V.P., Zinchuk N.N., Kharkiv A.D., Sokolov V.N. 1980. Zakonomernosti izmeneniya mantiynykh mineralov v kore vyvetrivanija kimberlitovykh porod [Regularities of changes in mantle minerals in the weathering crust of kimberlite rocks]. In: Minerageniya zony gipergeneza. Moskva. IGEM AN SSSR-1980. pp. 45-54. (in Russian)
- Afanasyev V.P., Pokhilenko N.P., Loginova A.M., Zinchuk N.N., Efimova E.S., Safyannikov V.I., Krasavchikov V.O., Podgornikh M. M., Prugov V.P. 2000. Osobennosti morfologii i sostava nekotorykh khromshpinelidov almazonosnykh ploshchadej v svyazi s problemoy «lozhnykh» indikatorov kimberlitov [New morphogenetic type of Cr-spinellide in diamondiferous areas in connection with the problem of false kimberlite indicators]. Geologiya i geofizika, 41(12):1729-1741. (in Russian)
- Vasilenko V.B., Zinchuk N.N., Kuznetsova L.G. 2000. Geodinamicheskiy kontrol razmeshcheniya kimberlitovykh polej tsentralnoj i severnoj chasti Yakutskoj kimberlitovoy provintsii (petrokhimicheskij aspekt) [Geodynamic control of the location of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakut kimberlite province (petrochemical aspect)]. In: Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya, 3(9):37-55. (in Russian)
- Gorshkov A.I., Zinchuk N.N., Kotel'nikov D.D., Shlykov V.G., Zhukhlistov A.P., Mokhov A.V., Sivtsov A.V. 2002. Novyy uporyadochennyj smeshanosloynny mineral lizardit-saponit iz kimberlitov Yuzhnoj Afriki [A new ordered mixed-layer lizardite-saponite mineral from South African kimberlites]. Doklady Akademii nauk, 382(3):374-378. (in Russian)
- Egorov K.N., Zinchuk N.N., Mishenin S.G., Serov V.P., Sekerin A.P., Galenko V.P., Denisenko E.P., Baryshev A.S., Menshagin Yu.V., Koshkarev D.A. 2003. Perspektivy korennoj i rossypnoj almazonosnosti yugo-zapadnoj chasti Sibirskoj platformy [Perspectives of primary and placer diamondiferousness of southwestern part of Siberian platform]. In: Geological aspects of the mineral resource base of the joint-stock company «ALROSA»: current state, prospects, solutions. MGT, Mirny, pp. 50-84. (in Russian)
- Zinchuk N.N. 1991. Osobennosti sostava i raspredeleniya slyudistykh obrazovaniy v kimberlitovykh porodakh Yakutii [Features of the composi-

tion and distribution of micaceous formations in kimberlite rocks of Yakutia]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*. 7:58-66. (in Russian)

Zinchuk N.N. 1998. Vliyaniye vtorichnykh mineralov na oblik i sostav kimberlitovykh porod [Influence of secondary minerals on the appearance and composition of kimberlite rocks]. *Geologiya i geofizika*, 39(12):1704-1715. (in Russian)

Zinchuk N.N. 2014. Opyt litologo-mineralogicheskikh issledovaniy drevnykh osadochnykh tolshch v svyazi s almazoposkovymi rabotami (na primere Sibirskoy platformy) [Experience of the lithological-mineralogical investigations of the ancient sedimentary sequences for the diamond prospecting (example of Siberian platform)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 1:13-19. (in Russian)

Zinchuk N.N. 2015. Osobennosti stroyeniya i sostav kory vyvetrivaniya na tufogennykh obrazovaniyakh v almazonosnykh regionakh Sibirskoy platformy [Specific features of structure and composition of weathering crust in tuffaceous formations in diamondiferous regions of Siberian platform]. *Bulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdel geologicheskoy*. 90(4):42-52. (in Russian)

Zinchuk N.N. 2016. Ob osnovnykh geologoposkovykh obstanovkakh pri prognozirovaniy kimberlitovykh trubok [Geological structure and petrography of kimberlite pipes]. *Nauka i obrazovanie*, 4(84):7-15. (in Russian)

Zinchuk N.N. 2017. Osobennosti almazonosnosti raznykh faz vnedreniya kimberlitov [Specific features of diamond potential of different kimberlite intrusion phases]. *Otechestvennaya geologiya*, 1:105-111. (in Russian)

Zinchuk N.N. 2018. Osobennosti mineralov slyud v kimberlitakh [Features of micaceous minerals in kimberlite]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 2:29-39. (in Russian)

Zinchuk N.N. 2021₁. Tipomorfnye svoystva indikatornykh mineralov kimberlitov i ikh ispolzovaniye pri prognozirovaniy mestorozhdeniy almaza na Sibirskoy platforme [Typomorphic properties of kimberlite indicator minerals and their use in forecasting diamond deposits on the Siberian platform]. *Otechestvennaya geologiya*, 2:41-56. (in Russian) doi: 10.47765/0869-7175-2021-10012.

Zinchuk N.N. 2021₂. Dokembriyskiye istochniki almazov rosspyey fanerozooya [Precambrian sources of diamonds in Phanerozoic placers]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 3:50-59. (in Russian) doi: 10.17308/geology.2021.3/3650.

Zinchuk N.N. 2021₃. Geologicheskie issledovaniya pri poiskakh almaznykh mestorozhdeniy [Geo-

logical research in prospecting for diamond deposits]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 4:35-52. (in Russian) doi: 10.17308/geology.2021.4/3789

Zinchuk N.N. 2022₁. Rol petrologo-mineralogicheskikh i geokhimicheskikh issledovaniy v otsenke potentsialnoy almazonosnosti kimberlitov [The role of petrological, mineralogical and geochemical studies in assessing the potential diamondiferousness of kimberlite]. *Otechestvennaya geologiya*, 1:59-70. (in Russian) doi: 10.47765/0869-7175-2022-10004

Zinchuk N.N. 2022₂. Kory vyvetrivaniya i ikh rol v formirovaniy postkimberlitovykh osadochnykh tolshch [Weathering crusts and their role in formation of post-kimberlite sedimentary sequences]. *Rudy i metally*, 2:100-120. (in Russian) doi: 10.47765/0869-5997-2022-10013

Zinchuk N.N. 2022₃. Kremnistye mineraly v kimberlitakh [Siliceous minerals in kimberlites]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 4:38-52. (in Russian) doi: 10.17308/geology/1609-0691/2022/4/38-52.

Zinchuk N.N. 2022₄. Osobennosti petrograficheskogo izucheniya kimberlitovykh porod [Specific features of petrographic study of kimberlite]. *Otechestvennaya geologiya*, 6:34-49. (in Russian) doi: 10.47765/0869-7175-2022-10033

Zinchuk N.N. 2023₁. O geokhimicheskikh osobennostyakh raznovozrastnykh obrazovaniy almazoperspektivnykh territoriy [Geochemical features of non-coeval formations in diamond-promising territories]. *Otechestvennaya geologiya*, 1:46-69. (in Russian) doi: 10.47765/0869-7175-2023-10004

Zinchuk N.N. 2023₂. Litologo-stratigraficheskiye issledovaniya pri almazoposkovykh rabotakh [Lithologic and stratigraphic studies for diamond prospecting]. *Vestnik of Severo-Vostochnogo federalnogo universiteta. Nauki o Zemle*. 1(29):5-28. (in Russian) doi: 10.25587/SVFU.2023.29.1.009.

Zinchuk N.N. 2023₃. Osobennosti gidrotermalnogo i gipergennogo izmeneniya slyudistykh kimberlitov [Specific features of hydrothermal and hypergene alterations of micaceous kimberlites]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 22(1):32-50. (in Russian) doi: 10.17072/psu.geol.22.1.32

Zinchuk N.N. 2023₄. Sulfaty v kimberlitovykh porodakh [Sulphates in kimberlite rocks]. *Otechestvennaya geologiya*, 2:56-72. (in Russian) doi: 10.47765/0869-7175-2023-10009

Zinchuk N.N. 2023₅. Osobennosti kaltsita iz kimberlitovykh porod [Features of calcite from kimberlite rocks]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 2:28-43. (in Russian) doi: 10.17308/geology/1609-0691/2023/2/28-43

Zinchuk N.N. 2023₆. O geologoposkovykh tipakh kimberlitovykh trubok [On the geological-

prospecting types of kimberlite pipes]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*. 2(60):43-56. (in Russian) doi: 10.19110/1994-5655-2023-2-43-56

Zinchuk N.N. 2023₇. Osobennosti sulfidov v kimberlitovykh porodakh [Features of sulphides in kimberlite rocks] *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 4:47-62. (in Russian) doi: 10.17308/geology/1609-0691/2023/4/47-62

Zinchuk N.N. 2024₁. O nekotorykh osobennostyakh regionalnoy poiskovoy almaznoy mineralogii [About perspectives of studying the kimberlite indicator minerals]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 23(2):152-172. (in Russian) doi: 10.17072/psu.geol.23.2.152

Zinchuk N.N. 2024₂. Geologo-tektonicheskoye stroeniye i osobennosti razvitiya Sibirskoy platformy v svyazi s almazoposkovymi rabotami [The geological-tectonic structure and specific development of the Siberian platform in the context of the diamond prospecting]. *Otechestvennaya geologiya*, 3:43-72. (in Russian) doi: 10.47765/0869-7175-2024-10014

Zinchuk N.N. 2024₃. Osobennosti magnetita iz kimberlitovykh porod [Features of magnetite from kimberlite rocks]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 3:32-47. (in Russian) doi: 10.17308/geology/1609-0691/2024/3/32-47.

Zinchuk N.N. 2024₄. Ob osobennostyakh nekotorykh indikatornykh mineralov kimberlitovykh porod [About characteristics of some kimberlite indicator minerals]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 23(2):352-376. (in Russian) doi: 10.17072/psu.geol.23.4.352

Zinchuk N.N., Afanasyev V.P. 1998. Geneticheskiye tipy i osnovnyye zakonomernosti formirovaniya almazonosnykh rossypey [Genetic types and main patterns of formation of diamond-bearing placers]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 2:66-71. (in Russian)

Zinchuk N. N., Barduchinov L. D. 2021. O spetsifike izucheniya almaza pri prognozno-poiskovykh rabotakh (na primere Sibirskoy platformy) [Diamond study features in forecasting and prospecting (Siberian platform)]. *Rudy i metally*, 3:59-75. doi: 10.47765/0869-5997-2021-10018. (in Russian).

Zinchuk N.N., Barduchinov L.D. 2022₁. Almazy iz nizkoproduktivnykh kimberlitov [Diamonds from low-grade kimberlite]. *Rudy i metally*, 1:77-93. (in Russian) doi: 10.47765/0869-5997-2022-10004

Zinchuk N.N., Barduchinov L.D. 2022₂. O spetsifike dokembriyskikh istochnikov almazov v rossypyakh [About specific character of the Precambrian sources of placer diamonds]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 21(2):149-166. (in Russian) doi: 10.17072/psu.geol.21.2.149

Zinchuk N.N., Barduchinov L.D. 2022₃. Almazy iz polupromyshlennykh kimberlitov [Diamonds from semi-industrial kimberlites]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 2:32-45. (in Russian) doi: 10.17308/geology.2022.2/9277

Zinchuk N.N., Barduchinov L.D. 2024₁. Sravnitelnye osobennosti almazov iz kimberlitovykh mestorozhdeniy severnoy chasti Sibirskoy platformy [Comparative features of diamonds from kimberlite deposits in the northern part of the Siberian platform]. *Vestnik Severo-Vostochnogo Federalnogo universiteta. Nauki o Zemle*. 1(33):11-30. (in Russian) doi: 10.25587/2587-8751-2024-1-11-30

Zinchuk N.N., Barduchinov L.D. 2024₂. Osobennosti sostava i formirovaniya rossypey almazov v krayevykh chastyakh drevnikh kratonov (na primere severo-vostoka Sibirskoy platformy) [Features of the composition and formation of diamond placers in the marginal parts of ancient cratons (on the example of the northeast of the Siberian platform)]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*. 3(69):64-76. (in Russian) doi: 10.19110/1994-5655-2024-3-63-75.

Zinchuk N.N., Boris E.I. 1981. O kontsentratsii produktov pereotlozheniya kor vyvetrivaniya v verkhnepaleozoyskikh osadochnykh tolshchakh vostochnogo borta Tungusskoy sineklizy [On concentration of redepositional products of weathering crusts occurring in upper Paleozoic sedimentary rocks of eastern flange of the Tunguska syncline]. *Geologiya i geofizika*, 8:22-29. (in Russian)

Zinchuk N.N., Boris E.I., Yanigin Yu.T. 2004. Osobennosti mineragenii almaza v drevnikh osadochnykh tolshchakh (na primere verkhnepaleozoyskikh otlozheniy Sibirskoy platformy) [Features of diamond minerageny in ancient sedimentary strata (using the example of Upper Paleozoic deposits of the Siberian platform)]. *MGT, Mirny*, p. 172 (in Russian)

Zinchuk N.N., Zuev V.M., Koptil V.I., Cherny S.D. 1997. Strategiya vedeniya i rezultaty almazoposkovykh rabot [Strategy of conducting and results of diamond prospecting operations]. *Gornyy vestnik*, 3:53-57. (in Russian)

Zinchuk N.N., Melnik Yu.M., Serenko V.P. 1987. Apokimberlitovyye porody [Apokimberlite rocks]. *Geologiya i geofizika*, 28(10):66-72. (in Russian)

Koptil V.I. 1994. Tipomorfizm diamante of nord-east of Sibirian platforme in bond of problem poiskov and deposits diamante. *Diss. kand. geol.-min. nauk. Novosibirsk. IGM SO RAN*. p. 25. (in Russian)

Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. 1996. Tipomorfnyye osobennosti i paleogeograficheskoye znacheniyey slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographic significance of micaceous min-

erals]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka* 1:53-61. (in Russian)

Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. 1997. Osobennosti glinistykh mineralov v otlozheniyakh razlichnykh osadochnykh formatsiy [Features of clay minerals in deposits of various sedimentary formations]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*. 2:53-63. (in Russian)

Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. 2001₁. Usloviya nakopleniya i postsedimentatsionnogo preobrazovaniya glinistykh mineralov v otlozheniyakh terrigennoy formatsii [Conditions of accumulation and post-sedimentation transformation of clay minerals in terrigenous formation deposits]. *Bulleten Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdelenie geologicheskoe*. 76(1):45-53. (in Russian)

Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. 2001₂. Kristal-lokhimicheskiye i strukturnye osobennosti glinistykh mineralov v korakh vyvetrivaniya v zavisimosti ot tipa iskhodnykh porod [Crystal chemical and structural features of clay minerals in weathering crusts depending on the type of original rocks]. *Bulletin Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody. Otdelenie geologicheskoe*. 76(1):45-53. (in Russian)

Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. 2003. Ob anomalnykh obshchey skhemy preobrazovaniya razbukhayushchikh glinistykh mineralov pri pogruzhenii soderzhashchikh ikh otlozheniy v stratisfere [About anomalies of general transformation scheme of swelling argillaceous minerals during submersion of containing them sediments into stratisphere]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Geologiya*. 2:57-68. (in Russian)

Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N., Kuzmin V.A. 2006. Morfoloogo-geneticheskiye raznovidnosti kaolinita v korakh vyvetrivaniya i osadochnom chekhle zemnoy kory. Stat'ya I. Mekhanizm obrazovaniya kaolinita v korakh vyvetrivaniya razlichnykh petrokhimicheskikh tipov porod [Morphological and genetic kaolinite varieties in the weathering crusts and sedimentation cover of the earth's crust. Article I. Mechanism of kaolinite formation in the weathering crusts of different petrochemical rock types]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*. 5:19-25. (in Russian)

Matsyuk S.S., Zinchuk N.N. 2001. Opticheskaya spektroskopiya mineralov verkhney mantii [Optical

spectroscopy of the upper mantle minerals]. *Nedra-Biznestsentr, Moskva*, p. 428 (in Russian)

Savko A.D., Zinchuk N.N., Scheverev L.T., Iliasch V.V., Afanasyev N.S. 2003. Diamond bearing of the Voronezh anteclise. Series NIIG Voronezh univ. 17:121. (in Russian)

Serokurov Yu., Kalmikov V.D., Zuev V.M. 2001. Space methods for fagecasting and prospecting for diamond deposits. *Moskva, Nedra*, p. 198. (in Russian)

Kharkiv A.D., Zinchuk N.N., Kruchkov A.I. 1998. Korennyye mestorozhdeniya almazov mir [Primary diamond world deposits]. *Nedra, Moskva*, p. 555. (in Russian)

Kharkiv A.D., Zuenko V.V., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I., Ukhanov A.V., Bogatykh M.M. 1991. Petrokhimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites]. *Nedra, Moskva*, p. 304. (in Russian)

Khitrov V.G., Zinchuk N.N., Kotelnikov D.D. 1987. Primeneniye klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonornostey vyvetrivaniya porod razlichnogo sostava [Use of cluster analysis to identify weathering patterns in rocks of various compositions]. *Doklady Akademii nauk USSR*, 296(5):1228-1233. (in Russian)

Afanasyev V.P., Griffin V.L., Natapov L.M., Zinchuk N.N., Matukhin R.G., Mkrtchyan G.A. 2005. Diamond prospects in the Southwestern flank of the Tungusk syneclise. *Geology of ore Deposits*, 47(1):45-62.

Grakhanov S.A., Zinchuk N.N., Sobolev N.V. 2015. The age of predictable primary diamond sources in the Northeastern Siberian platform. *Doklady Earth Sciences*, 465(2):1297-1301. doi: 10.1134/S1028334X15120193.

Kotelnikov D.D., Zinchuk N.N. 2008. Comparative analysis of clay mineral evolution under the conditions of humid and arid lithogenesis. *Russian Geology and Geophysics*, 49(10):121-144. doi: 10.1016/j.rgg.2008.01.009

Rosen O.M., Serenko V.P., Spetsius Z.V., Manakov A.v., Zinchuk N.N. 2002. Yakutian kimberlite province: Position in the Siberian craton and composition of the upper and lower crust. *Geologiya and Geofizika*. 43(1):3-26.

Serov I.V., Garanin V.K., Zinchuk N.N., Rotman A.Ya. 2001. Mantle sources of the kimberlite volcanism of the Siberian platform. *Petrology*. 9(6):576-588.