

## Коры выветривания и их роль в формировании посткимберлитовых осадочных толщ

### Weathering crusts and their role in formation of post-kimberlite sedimentary sequences

Зинчук Н. Н.

Zinchuk N. N.

На примере главных алмазоносных районов Сибирской платформы охарактеризованы основные поставщики терригенного материала в формировавшиеся древние алмазоносные россыпи. Особое внимание уделено характеристике местных источников сноса аллотигенного материала в бассейны седиментации указанного периода, главными среди которых были коры выветривания (КВ) на терригенно-карбонатных породах, образованиях трапповой формации (долериты, туфы и туфогенные толщи) и кимберлитах. Сравнительное комплексное исследование древних КВ на породах различного химического и минералогического составов позволили проследить особенности их гипергенного изменения и типоморфные признаки элювиальных продуктов. В переотложенных продуктах выветривания различных пород возможно дифференцировать на структурном уровне одни и те же разновидности первичных минералов. Переотложение продуктов выветривания пород различного состава вблизи областей денудации и накопление в основном в пресноводных водоёмах, а также небольшая мощность сформировавшихся осадочных толщ и незначительное погружение их определили слабое гидродинамическое воздействие среды на аллотигенные минералы (прежде всего глинистые), что не привело к существенному их диагенетическому изменению. Поэтому переотложенные в древних осадочных толщах продукты различных типов КВ сохраняют структурные и кристаллохимические особенности по отношению к минералам элювиальных толщ, что позволяет проследить пути поступления в бассейны седиментации терригенного (в том числе алмазоносного) материала.

Ключевые слова: древние коры выветривания, гипогенные и гипергенные минералы, типоморфизм минералов, алмазоносные толщи.

The principal suppliers of terrigenous material to forming ancient diamond placers are characterized based on the main diamond-bearing districts of the Siberian platform as an example. A special attention is paid to characteristics of the local sources of allothigenous material washed out into sedimentation basins of the period specified, the main of which were weathering crusts formed upon terrigenous-carbonate rocks, trappean formations (dolerites, tuffs, and tuffaceous rock sequences), and kimberlites. A comprehensive comparative investigation of the ancient weathering crusts upon the rocks of various chemical and mineralogical composition allowed tracing the specific features of their hypergene alteration and the typomorphic indications of the eluvial products. The same varieties of primary minerals in redeposited products of weathering of the various rocks may be differentiated at the structural level, and the secondary phyllosilicates may be identified either by occupation of the octahedral positions in their structure, or by mutual superposition of individual silicate layers, or by their polytypic character. Redeposition of the products of weathering of the rocks of various composition near the denudation areas and their predominant accumulation in freshwater basins, as well as a small thickness of the sedimentary layers formed and their insignificant burial, had determined a weak hydrodynamic impact of the environment on the allothigenous minerals (argillaceous, first of all), which did not lead to their sufficient diagenetic alteration. Therefore, the products of various types of the weathering crusts, redeposited in the ancient sedimentary sequences, retain the structural and crystal-chemical peculiarities in relation to the minerals of the eluvial rock masses, which allows tracing the ways of arrival of the terrigenous (including diamondiferous) material into the sedimentation basins.

Key words: ancient weathering crusts, hypogene and hypergene minerals, typomorphism of minerals, diamondiferous rock sequences.

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

For citation: Zinchuk N. N. Weathering crusts and their role in formation of post-kimberlite sedimentary sequences. Ores and metals, 2022, № 2, pp. 100–120. DOI: 10.47765/0869-5997-2022-10013.



В геологической литературе имеется немало сведений о соотношении эпох мощного корообразования и мантийного магматизма в истории Земли, сформулировавших представление об «эпохах мощного корообразования» [1–5] и охарактеризовавших следующие эпохи: а) допротерозойскую (но послепалеозойскую); б) раннепалеозойскую (докембрийскую или дорифейскую); в) среднепалеозойскую (девонскую или додевонскую); г) раннемезозойскую (позднетриасовую – раннеюрскую); д) третичную (позднетретичную). Упомянутые периоды мощного корообразования совпадают с «эпохами минимального осадконакопления» или «эпохами перерыва», которые закономерно коррелируются с этапами тектонической жизни Земли. Принципиальным вопросом является количество и продолжительность эпох мощного корообразования в истории Земли, так как после каждой из них оставались специфические толщи пород. Обобщены доступные материалы по мощному корообразованию и алмазонасному магматизму [6–10], опубликована схема, показывающая соотношение в неогее этапов осадконакопления (площади и типы осадочных образований), эпох мощного корообразования и кимберлитового магматизма. Рассматривая соотношение основных эпох мощного корообразования и в целом магматизма [11–15], следует отметить огромное значение этих данных для оценки алмазонасности обширных (особенно малоизученных) территорий, на которых нередко (рис. 1) по результатам комплексных исследований выделяется ряд кимберлитовых районов и полей.

*Коры выветривания* (КВ) возникают при благоприятных соотношениях следующих основных факторов [16–19]: интенсивности выветривания, глубины возможного корообразования и скорости размыва. Интенсивность выветривания резко возрастает с увеличением температуры и количества выпадающих осадков. Большое значение имеет также обилие гумусового вещества, обладающего кислотными свойствами. Мощность КВ сильно зависит и от глубины залегания грунтовых вод. Наиболее интенсивная денудация элю-

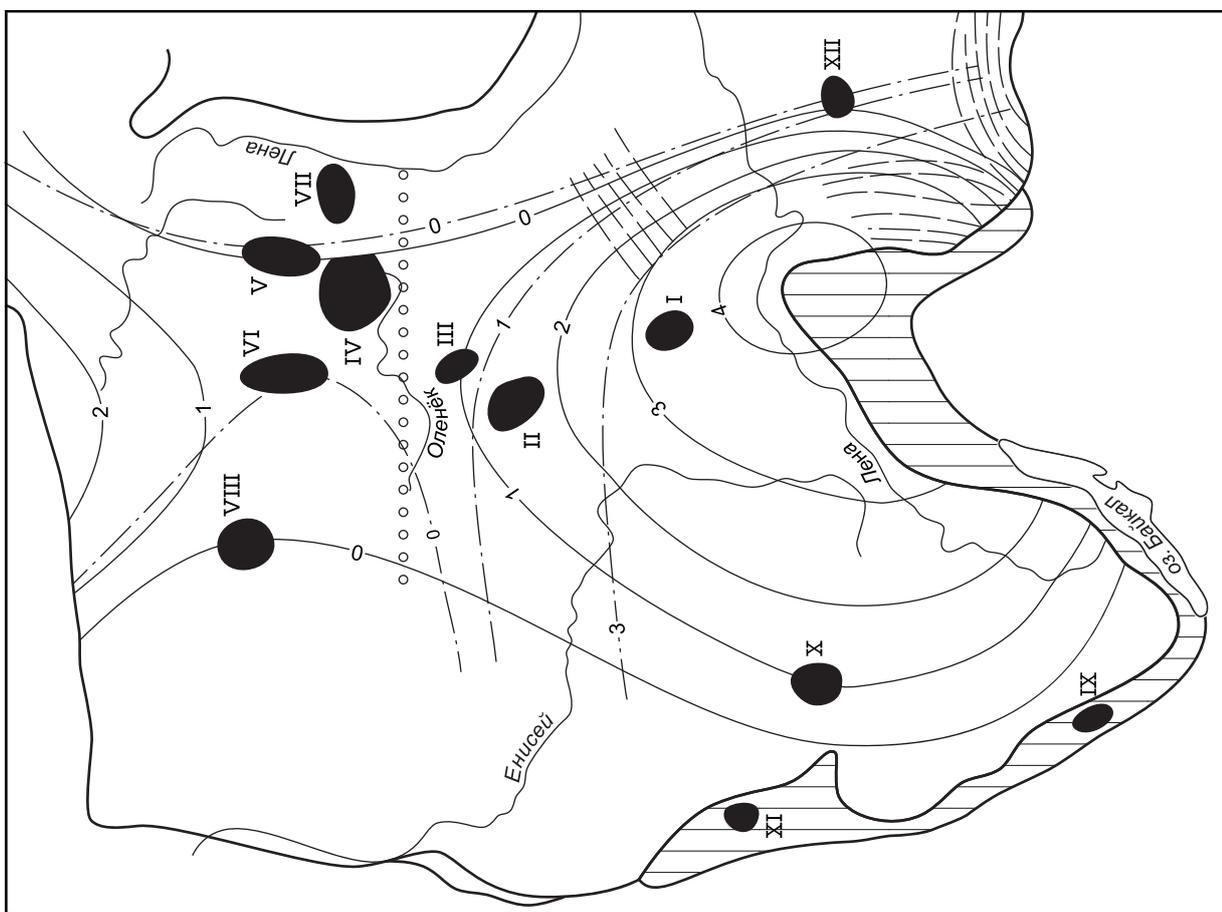
виальных продуктов происходит вдоль эрозионной сети, тогда как на плоских водоразделах, наоборот, наблюдается минимальный размыв при наиболее интенсивном дренаже. На таких водоразделах обычно и формируется мощная КВ [20–24], сохраняясь от размыва только при стечении благоприятных факторов, в первую очередь в пониженных участках древнего рельефа денудационной поверхности и в тектонически опущенных блоках. На пенеппене или первичной аккумулятивной равнине дренаж обычно очень слаб, отчего здесь не образуются мощные КВ. Так, на Сибирской платформе (СП), в том числе в её основных алмазонасных районах – Малоботуобинском (МБАР) и Далдыно-Алакитском (ДААР), – благоприятные палеогеографические условия для формирования мощных КВ существовали в позднедевонское-раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время [24]. На рассматриваемой территории в конце девона произошло сокращение морского бассейна. На северо-западе и северо-востоке Тунгусской верхнепалеозойской синеклизы (ТВС) сформировались прибрежные низменные равнины, а на юге ТВС и Вилуйской мезозойской синеклизы (ВМС) возникли равнины с континентальным осадконакоплением, которые разделялись более высокими денудационными плато.

Каменноугольному периоду активизации общего воздымания СП предшествовала эпоха относительного покоя, в течение которой дифференцированных тектонических движений практически не происходило. Рельеф суши в рассматриваемое время был сильно пенеппенизирован, причём выравнивание рельефа и образование элювия на исходных породах протекало постепенно. Для позднедевонско-раннекаменноугольной эпохи характерно весьма активное развитие процессов корообразования, протекающих в условиях тёплого и влажного климата. В конце пермского периода во многих районах СП начались излияния лав и внедрения траппов, особенно сильно проявившиеся к концу раннего триаса, когда длительная эпоха денудации рельефа завершилась пенеппенизацией платформ.



**Рис. 1. Схема распространения кимберлитовых и кимберлитоподобных пород на СП:**

1 – граница СП; 2 – районы развития кимберлитов и кимберлитоподобных пород (I – Малоботубинский, II – Дально-Алакитский, III – Верхнемунский, IV – Среднеолёнский, V – Нижнеолёнский, VI – Куонамский, VII – Приленский, VIII – Маймечя-Когуйский, IX – Белозиминский, X – Чадобецкий, XI – Северо-Енисейский, XII – Алданский); 3 – структурные комплексы раннего протерозоя; 4 – миогеосинклинальные зоны байкалид [1, 5]; 5 – линии тренда алмазности, усл. ед. (a – для всей провинции, b – для северной части провинции без районов VIII–XI); 6 – граница между Вилуйской и Анабаро-Оленёкской алмазными областями



**Fig. 1. Scheme of the distribution of kimberlite and kimberlite-like rocks in the SP:**

1 – СП boundary; 2 – areas of development of kimberlites and kimberlite-like rocks (I – Malobotubinsky, II – Daldino-Alakitsky, III – Verkhnemunsky, IV – Sredneoleksky, V – Nizhneolenensky, VI – Kuonamsky, VII – Prilensky, VIII – Maimemchakotskiy, IX – Beloziminsky, X – Chadobetsky, XI – North Yenisei, XII – Aldan); 3 – structural complexes of the Lower Proterozoic; 4 – miogeosynclinal zones of the Baikalsids [1, 5]; 5 – diamond content trend lines, CU. (a – for the entire province, b – for the northern part of the province without districts VIII–XI); 6 – the border between the Vilyui and Anabar-Olenek diamondiferous areas



Региональная пенеуплензация в среднем и позднем триасе обусловлена эпохой тектонического покоя до юрской активизации. В раннем и среднем триасе климат был субтропический с элементами аридного, с резко неравномерным распределением осадков по сезонам, а в позднем триасе – ранней юре – с возросшим количеством атмосферных осадков, что способствовало формированию мощной преимущественно каолиновой КВ. Корообразование, денудация и переотложение этой КВ в коррелятивные толщи рассматриваемого региона происходили относительно равномерно, что было обусловлено слабыми изменениями палеорельефа и тектонического режима. Так, иреляхская свита рэт-геттанга Ангаро-Виллюйского наложенного мезозойского прогиба (АВНМП), содержащая продукты переотложения КВ, – отражение погребённой денудационной поверхности среднего–верхнего триаса.

В пределах Якутской алмазонасной субпровинции (ЯАСП) КВ развиты на различных породах: терригенно-карбонатных раннего палеозоя, долеритах, туфах и туфобрекчиях трубчатых тел, туфогенных образованиях корвунчанской свиты и кимберлитах. В структурном плане древние КВ приурочены преимущественно к конседиментационным палеоподнятиям, в пределах которых в период формирования перекрывающих их отложений развивались обстановки денудационных и денудационно-аккумулятивных равнин [3–5]. В конседиментационных палеовпадинах, служивших местами аккумуляции переотложенного материала КВ, наоборот, были неблагоприятные условия для интенсивного корообразования. Возможно, здесь протекали только начальные стадии дезинтеграции пород субстрата. В позднедевонское-раннекаменноугольное время в МБАР относительно мощные (до 15 м) площадные остаточные КВ на терригенно-карбонатных породах раннего палеозоя развивались (а затем сохранились от размыва) на Улу-Тогинском, Мирнинском, Джункунском и Чернышевском палеоподнятиях, обрамлявших Кюеляхскую, Улахан-Ботубинскую и Ахтарандинскую впадины [3, 11].

Установленные в отдельных разрезах верхние горизонты КВ свидетельствуют о формировании в них полных профилей. На поднятиях и их склонах отмечаются более мелкие понижения в рельефе и структурные террасы, на которых менее контрастно проявляется закономерность приуроченности наиболее мощных КВ к поднятиям.

Подобные палеогеоморфологические особенности развития и распределения характерны и для средне-позднетриасовых КВ [9–12]. Так, в пределах МБАР в мезозойское время структуры формировались в двух различных структурно-формационных зонах, резко отличающихся условиями развития и сохранения доюрских КВ. Одна из них охватывает всю северо-западную половину территории района и в структурном отношении совпадает с северо-западным бортом АВНМП, являвшегося на протяжении длительного времени денудационной, а затем в плинсбахе – денудационно-аккумулятивной поверхностью. Здесь ко времени корообразования были развиты верхнепалеозойские вулканогенно-терригенные отложения, а также породы трапповой формации (долериты и туфогенные образования) раннего триаса. Только в полосе шириной примерно 25–30 км вдоль бровки северо-западного борта того же прогиба в то время обнажались терригенно-карбонатные породы раннего палеозоя. В средне-позднетриасовое время, судя по сохранившимся разрезам полного профиля латеритоподобной КВ [13–17], существовали благоприятные условия для интенсивного корообразования. Такие профили изучены нами на терригенно-карбонатных породах раннего палеозоя мощностью до 15 м (правобережье нижнего течения р. Малая Ботубия), траппах раннего триаса мощностью до 43 м (Хатат-Юлегирское междуречье) и кимберлитах мощностью до 15 м.

Вторая – юго-восточная зона района, совпадающая с центральной частью АВНМП, была неблагоприятной для интенсивного корообразования, хотя здесь в среднем и позднем триасе обнажались терригенно-карбонатные породы раннего палеозоя. В процессе корооб-

разования разрушенный материал пород субстрата сносился в пониженные участки центральной части прогиба.

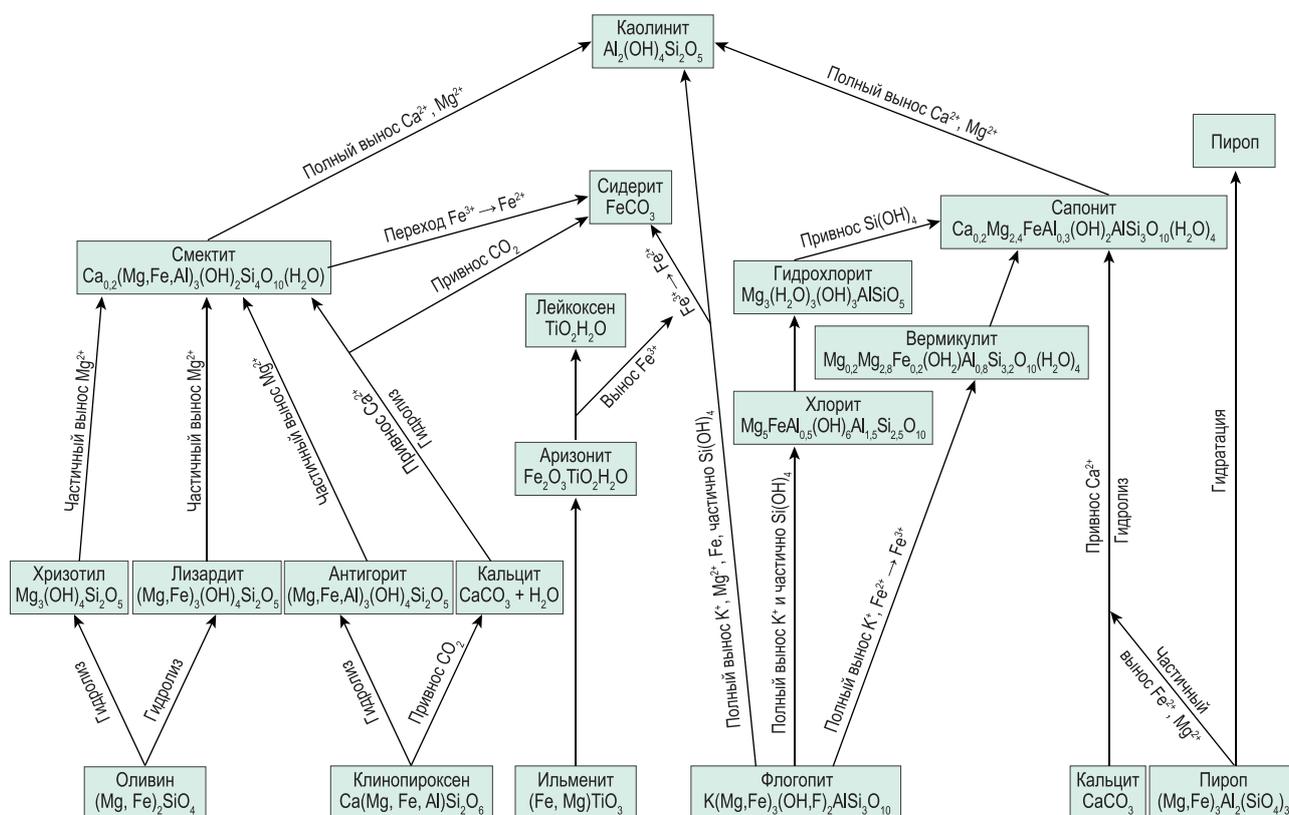
В ДААР также устанавливается приуроченность КВ к палеоподнятиям и их склонам [1–5]. Так, поля развития площадных остаточных КВ на терригенно-карбонатных породах раннего палеозоя тяготеют к Верхне-Алакитскому и Чукук-Мархинскому поднятиям и их склонам. Преимущественно на склонах устанавливаются фрагменты мощных и площадных КВ, а в ближайших депрессиях отмечается аккумуляция продуктов их переотложения. В средне-позднетриасовое время в этом районе существовали благоприятные условия для интенсивного корообразования, что, кроме КВ на терригенно-карбонатных породах раннего палеозоя, подчёркивается остатками элювиальных толщ (мощностью до 15 м) на образованиях трапповой формации.

Коры выветривания на терригенно-карбонатных породах раннего палеозоя рассматриваемой в качестве примера территории сформировались во время длительных континентальных перерывов, произошедших в позднедевонское-раннекаменноугольное и средне-позднетриасовое время. Развитие и сохранность этих элювиальных образований полностью зависели от структурно-формационной позиции каждого конкретного участка. При общих благоприятных условиях на конседиментационных палеоподнятиях и их склонах сформировались и сохранились (хотя и фрагментарно) наиболее полные профили КВ значительной (десятки метров) мощности, а в палеовпадинах фиксируются небольшие по размерам и мощности останцы нижних частей аналогичных профилей. Площадная остаточная допозднепалеозойская КВ на терригенно-карбонатных породах раннего палеозоя широко распространена в северной части МБАР и в отдельных пунктах ДААР под покровом верхнепалеозойских осадочных толщ. Кроме таких площадных КВ, в отдельных пунктах северной части МБАР (бассейн руч. Улахан-Ирелях и др.) установлены фрагменты линейных КВ, развитых по зонам тектонических нарушений. Значитель-

ные по размерам и мощности (до 15 м) поля средне-позднетриасовой КВ на терригенно-карбонатных породах раннего палеозоя отмечены в центральной части МБАР, и в большинстве случаев они перекрыты мезозойскими осадочными толщами.

Средне-позднетриасовая площадная остаточная КВ на долеритах развита преимущественно в понижениях траппового плато, занимающего северо-западную часть МБАР, а также в тектонически опущенных блоках. Форма и размеры реликтов полей развития выветрелых траппов и их мощность полностью зависят от аналогичных параметров этих понижений, являющихся фрагментами (нижними частями) древних конседиментационных структур или отрицательных форм триасового рельефа. В ДААР остаточная площадная средне-позднетриасовая КВ на долеритах зафиксирована только в нескольких пунктах, приуроченных к понижениям траппового плато. Линейная КВ долеритов (мощностью до 30 м) выявлена в ряде пунктов северной части МБАР вдоль тектонических нарушений. В ряде алмазоносных районов СП отмечена остаточная кора КВ на туфах и туфогенных образованиях. В последние годы нами она детально изучена в МБАР как на туфогенных образованиях корвунчанской свиты, так и на трубчатых телах агломератовых туфов и туфобрекчий. Средне-позднетриасовая остаточная КВ площадного типа на туфогенных породах корвунчанской свиты отмечена в виде разобъённых останцов в северо-западной части МБАР.

Кора выветривания на трубках взрыва трапповых и кимберлитовых пород ограничена контурами самих тел и иногда прослеживается на глубинах до сотни метров. Такие образования можно отнести к типу локального распространения как разновидность площадной КВ, обусловленной значительно меньшей устойчивостью пород трубок взрыва по сравнению с вмещающими их терригенно-карбонатными породами раннего палеозоя [4–5]. В верхних частях многих трубок взрыва трапповых пород отмечена мощная КВ. В зависимости от геологической обстановки и воз-



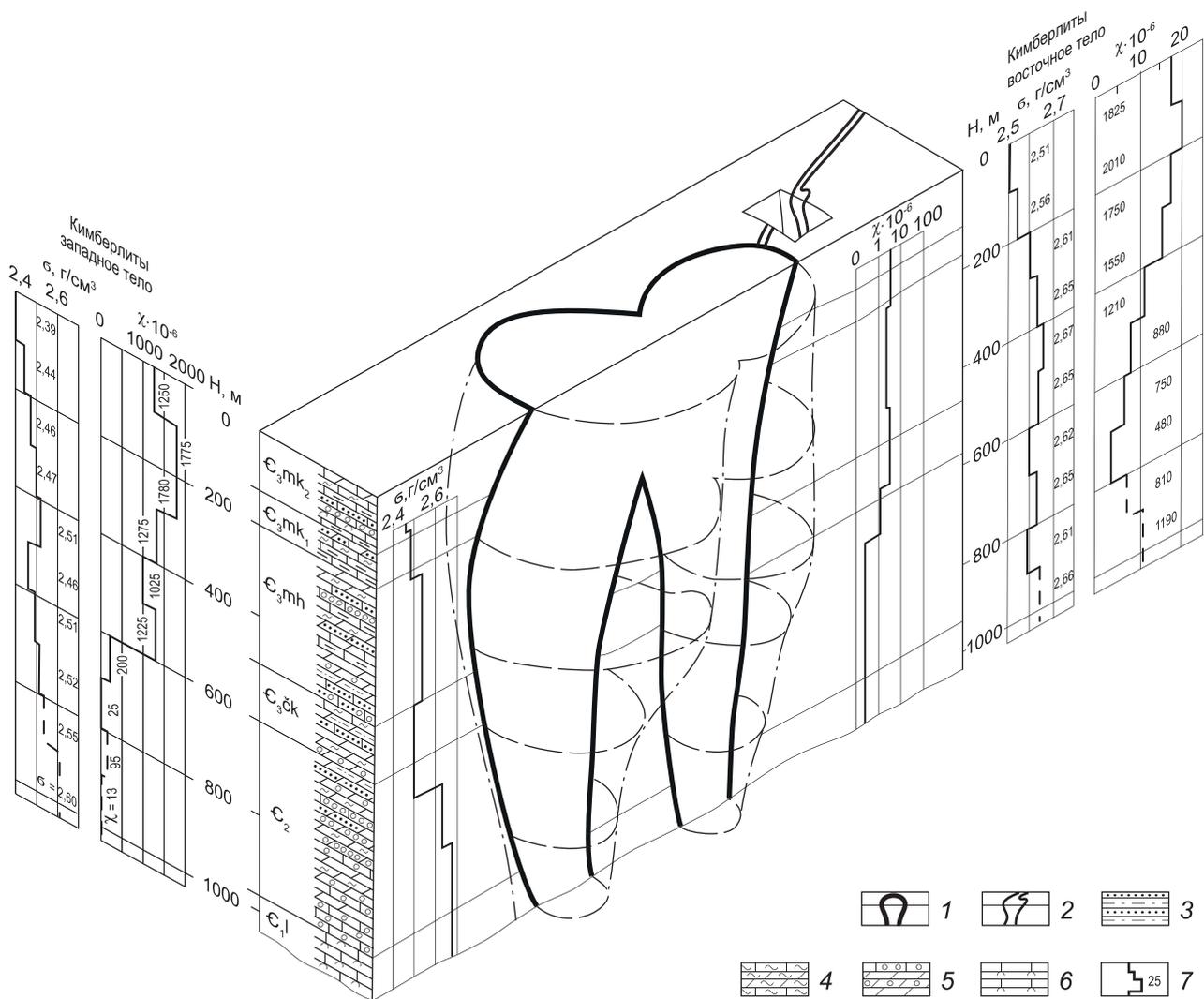
**Рис. 2. Схема преобразования минералов в коре выветривания кимберлитов Накынского кимберлитового поля**

**Fig. 2. Scheme of transformation of minerals in the weathering crust of kimberlites of the Nakyn kimberlite field**

раста перекрывающих трубки отложений могли формироваться КВ туфов и туфобрекчий позднедевонского–раннекаменноугольного или средне-позднетриасового возрастов.

На многих кимберлитовых трубках СП развита КВ, которая нередко перекрыта верхне-палеозойскими (ДААР) или мезозойскими (МБАР) осадочными толщами, реже – пластовыми интрузиями траппов. Возраст перекрывающих кимберлитовые трубки отложений обычно считается верхней границей таких КВ. Эти коры также отнесены нами к типу локального распространения как разновидность остаточной площадной КВ. В гипергенных условиях существенно изменяются вещественный состав и петрофизические свойства пород (рис. 2), влияющие на процессы образования природных геофизических аномалий.

Так, плотность кимберлитов зависит от степени их выветрелости и глубины залегания в диатреме, а магнитная восприимчивость – от степени окисленности железа, которая в верхних горизонтах всегда выше, чем на глубине. Наименее низкой (2,20–2,30 г/см<sup>3</sup>) плотностью характеризуются (рис. 3) кимберлиты верхних горизонтов практически всех изученных диатрем, особенно с развитой КВ и сохранившимися образованиями кратерной фации [12]. С глубиной плотность кимберлитов постепенно возрастает: на средних горизонтах она составляет 2,35–2,40 г/см<sup>3</sup>, на глубине 1,0–1,2 км – 2,65–2,68 г/см<sup>3</sup>. Кимберлиты верхних горизонтов диатрем обладают большей магнитной восприимчивостью, чем глубоких, что связано в основном с повышением в выветрелых породах роли гидроксидов железа.



**Рис. 3. Схематическая модель кимберлитовой трубки Удачная с вариациями плотности и магнитной восприимчивости кимберлитов и вмещающих пород:**

1 – кимберлиты; 2 – кимберлитовая жила и раздув; 3 – песчаники, алевролиты; 4 – глинистые известняки; 5 – доломиты; 6 – известняки; 7 – усреднённые значения величин

**Fig. 3. Schematic model of the Udachnaya kimberlite pipe with variations in density and magnetic susceptibility of kimberlite and host rocks:**

1 – kimberlite; 2 – kimberlite vein and bulge; 3 – sandstone, siltstone; 4 – clayey limestone; 5 – dolomite; 6 – limestone; 7 – averaged values

Кроме отличий в геологическом распространении и сохранности различных типов КВ, проведёнными нами комплексными исследованиями найдены и существенные особенности вещественного состава этих элюви-

альных образований. Так, исходными подвергшимся выветриванию породами раннего палеозоя являлись плотные серые и светло-серые, иногда грязно-серые карбонатные песчанистые алевролиты и известково-доло-



митовые песчаники, а также отдельные маломощные прослои карбонатизированных глин. В нижней части зоны дезинтеграции КВ терригенно-карбонатные породы раздроблены многочисленными трещинами и микротрещинами, однако структурно-текстурные особенности материнских пород сохраняются полностью. Тяжёлая фракция пород обогащена весьма устойчивыми минералами: турмалином, цирконом, гранатами, сфеном, дистеном, рутилом. Среди рудных минералов преобладает магнетит. В низах разреза часть зёрен ильменита лейкоксенизирована. Выявлена значительная концентрация землистого эпидота. Однако уже здесь в тяжёлой фракции преобладают аутигенные минералы, представленные почти полностью гидроксидами железа (гётит, реже гидрогётит). Во фракции мельче 0,001 мм породы этой части профилей содержат слабо деградировавшую гидрослюда политипной модификации  $2M_1$  с полубеспорядочной структурой, триоктаэдрическое хлорит-монтмориллонитовое (ХМСО) и диоктаэдрическое монтмориллонит-гидрослюдистое смешанослойное образование (МГСО). При этом в нижних частях профилей выветривания гидрослюда  $1M$  присутствует в существенном количестве.

В верхней части профилей выветривания этого типа, представляющей собой зону выщелачивания, в глинистых образованиях пятнистой окраски структурно-текстурные особенности материнских пород практически не сохраняются. Среди первичных тяжёлых минералов в этой части возрастает концентрация землистого эпидота и весьма устойчивых (гранаты, турмалин, циркон и др.) минералов. Увеличивается окисление магнетита, и в аутигенном комплексе здесь преобладают сидерит и пирит. В рассматриваемой зоне присутствуют гидрослюда  $2M_1$  и МГСО с более высоким содержанием разбухающих пакетов [9–12]. Отмечается примесь каолинита, гиббсита и талька, а в отдельных участках в глинистых образованиях встречены линзы, желваки и прожилки белых и серовато-белых вторичных образований, состоящих из алуни-та, алюминита, базальюминита, гипса, кальци-

та. Для такого типа профилей выветривания характерны и специфические геохимические особенности [3].

*Кора выветривания на долеритах* сохранилась в алмазоносных районах СП только в понижениях плато или в тектонически опущенных блоках [3–5]. Мощность КВ на долеритах в алмазоносных районах Якутии обычно редко превышает первые метры, достигая в отдельных разрезах 50 м и более. Обычно от размыва сохраняется лишь нижняя часть КВ – зона дезинтеграции. Размеры останцов такой КВ небольшие (до 1 км<sup>2</sup>, редко больше). Кроме площадной коры, в северной части МБАР установлена линейная КВ долеритов (мощностью до 30 м), развитая вдоль тектонических нарушений. Большинство сохранившихся полей этой КВ располагаются на пониженных участках современных водораздельных пространств траппового плато, имея выход на дневную поверхность, и в меньшей степени – в пределах склонов мезозойских депрессий, где указанные элювиальные толщи перекрыты нижнеюрскими осадочными образованиями [10, 18].

При выветривании долеритов происходит закономерное изменение их физических и физико-механических свойств. Исходные не подвергшиеся выветриванию породы в северной части МБАР представлены серыми и тёмно-серыми долеритами, сложенными плагиоклазами (лабрадор – битовнит), моноклинными пироксенами (авгит), ильменитом, магнетитом, оливином, биотитом, стекловатым мезостазиом. Уже в нижних частях зоны дезинтеграции наблюдается разложение плагиоклазов и фемических минералов и формирование по ним железисто-глинистых тонкодисперсных агрегатов. Вверх по разрезу профилей выветривания увеличивается количество макро-, мезо- и микротрещин, vyplненных вторичными минералами (кальцитом, иддингситом, гётитом, гематитом). В самых верхних горизонтах наиболее полных профилей выветрелых долеритов реликтовые структуры материнских пород практически не отмечаются. Здесь практически полностью разрушаются самые неустойчивые первичные

минералы тяжёлой фракции (пироксены, амфиболы), что приводит к высокой концентрации умеренно устойчивых (группа эпидота) и весьма устойчивых (турмалин, рутил, сфен и др.) минералов. В аутигенном комплексе возрастает роль пирита и сидерита. Последовательно разрушается вермикулит и накапливается ассоциирующий с ним монтмориллонит, который характеризуется дальнейшим разупорядочением структуры. Разложение вермикулита проявляется в уменьшении размеров и разрушении клиновидных микроблоков, а также в увеличении количества более плотных, чем в нижних частях профилей, псевдоглобулярных микроагрегатов монтмориллонита преимущественно с Са в межслоевых промежутках. В верхних частях профилей выветривания увеличивается количество каолинита.

*Кора выветривания на туфах и туфобрекчиях трубок взрыва* обнаружена в различных позднепалеозойских и мезозойских структурно-формационных зонах МБАР. Меньшая устойчивость туфов и туфобрекчий в процессе корообразования, чем вмещающих пород, позволяет наиболее рельефно проследить на них установленную закономерность более интенсивного развития (независимо от типов пород субстрата) и лучшей сохранности КВ в пределах денудационной поверхности выравнивания, территориально совпадающей с конседиментационными палеоподнятиями и их склонами, по сравнению с денудационно-аккумулятивными и аккумулятивными поверхностями, соответствующими палеовпадинам [5, 7]. Наиболее мощные КВ, достигающие мощности 70–90 м, изучены нами на туфогенных породах трубчатых тел А-49, А-50 и др. Однако в этом же районе встречены трубчатые тела с плохо выраженной КВ в верхних частях, что связано со слабой гидротермально-метасоматической переработкой пород до процессов корообразования. Исходные подвергшиеся выветриванию породы в таких трубках взрыва сложены сравнительно плотным пирокластическим материалом с мелкими обломками иных пород, кварца, халцедона, полевых шпатов, биотита и других

минералов. В группе полевых шпатов преобладают олигоклаз, разности ряда лабрадор – битовнит и микроклин. Среди первичных тяжёлых минералов резко доминируют по всему профилю выветривания рудные минералы (магнетит и ильменит). Менее распространены умеренно устойчивые (группа эпидота) и весьма устойчивые (циркон, гранаты, турмалин, рутил, сфен и дистен) минералы. Аутигенные минералы тяжёлой фракции часто почти полностью представлены гидроксидами железа (гётит, гидрогётит, реже гематит). В глинистой фракции изученных проб из низов профилей таких КВ присутствует в основном Mg-Fe-хлорит, ассоциирующий с Mg-Fe-монтмориллонитом, вермикулитом и небольшой примесью каолинита. Вверх по разрезу наблюдаются быстрое окисление и разложение хлорита, уменьшение роли вермикулита и монтмориллонита и увеличение неупорядоченного вермикулит-монтмориллонитового смешанослойного образования (ВМСО).

На многих кимберлитовых трубках Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской (АП) платформ в верхних частях отмечена КВ. Так, в МБАР КВ кимберлитов установлена и нами изучена на трубках им. XXIII съезда КПСС, Дачная, Таёжная, Амакинская и Интернациональная. Наиболее детально изучен профиль КВ кимберлитов на трубке им. XXIII съезда КПСС, где определена более глубокая химическая переработка пород, чем в других диатремах региона. Исходные подвергшиеся выветриванию породы этой трубки представлены серой и голубовато-серой кимберлитовой брекчией. Преобладающая масса породы сложена агрегатами кальцита и серпентина с мелкими рассеянными выделениями магнетита. Количество обломочного материала редко превышает 25 %. В процессе выветривания возрастают трещиноватость пород и содержание пелитовых частиц. В лёгкой фракции преобладают серые, серовато-бурые глинистые и глинисто-железистые агрегаты, практически не разрушающиеся при дезагрегации пород. Присутствуют также обломки кварца, покрытые землистыми при-



мазками и «рубашками» вторичных продуктов изменения кимберлитов. Во фракции крупнее 0,1 мм отмечены выделения халцедона и зёрна плагиоклазов, связанные с разрушением обломков различных пород (траппов, терригенно-карбонатных и др.), содержащихся в кимберлитах. Встречается много чешуек слюд, которые уже в зоне дезинтеграции приобретают зеленоватую окраску, обусловленную замещением флогопита хлоритом (см. рис. 2). Среди первичных минералов тяжёлой фракции образований рассматриваемого типа КВ доминируют ильменит, гранаты, алмаз [5, 9, 16]. Содержание последнего уменьшается в процессе выветривания, вследствие чего в верхних частях профилей выветривания возрастает роль более устойчивого в гипергенных условиях пикроильменита [6]. В резко подчинённом количестве в элювии этого типа отмечены [5] хромит, хромдиоксид, турмалин, циркон, дистен, рутил, сфен и др.

Аутигенный комплекс минералов тяжёлой фракции чаще всего обогащён гидроксидами железа (гётит), гематитом, сидеритом. В пелитовой составляющей частично изменённых кимберлитов профилей выветривания появляются пластинчатые серпентины (структура которых состоит из слоёв типа А и В), ассоциирующие с гидрослюдой, неупорядоченными ВМСО, хлоритом (в отдельных профилях с вермикулитом) и монтмориллонитом. Гидрослюда связана в основном с диоктаэдризацией флогопита и наследует свойственный последнему политип 1М. В наиболее изменённых верхних горизонтах таких профилей выветривания в составе пелитовой составляющей увеличивается роль каолинита. Такие же особенности вещественного состава отмечены и для профилей выветривания кимберлитов трубок Дачная, Таёжная, Амакинская, а также отдельных диатрем других алмазоносных районов (см. рис. 2) Сибирской и Восточно-Европейской платформ. При этом для КВ последней характерным слоистым силикатом является сапонит, который, учитывая обеднённость кимберлитов этого региона реликтивными минералами-спутниками алмаза (ИМК), можно использовать как

индикаторный минерал трубок взрыва этих пород [9, 10].

Очень важно в практическом плане при проведении литолого-палеогеографических исследований оценить степень и характер концентрации в продуктивных осадочных толщах материала различных типов древних КВ. Так, на протяжении позднего палеозоя в МБАР унаследованное и некомпенсированное опускание отдельных участков территории привело к образованию ряда конседиментационных депрессий: Ахтарандинской на западе, Улахан-Ботубинской, охватывающей нижнее течение р. Большая Ботубия, и Кюеляхской в верховье р. Кюелях. Между этими депрессиями располагаются участки, испытывавшие относительно замедленное опускание территории. На западе района установлено Чернышевское поднятие, а в районе Улу-Тогинской петли р. Виллой – Улу-Тогинское, совпадающее с осевой линией Ботубинского [3–5]. Всё это обусловило образование в пределах поднятий и их склонов осадков, обогащённых местным, а в депрессиях – преимущественно чуждым району материалом. Находки в базальных горизонтах поднятий заметных концентраций ИМК делают эти отложения перспективными на поиски коренных месторождений алмазов. Это подчёркивает то, что в позднедевонское–раннекаменноугольное время такие не открытые пока кимберлитовые тела подвергались довольно длительному и интенсивному выветриванию, приведшему к высвобождению первичных минералов кимберлитов, накоплению их в КВ, а затем и переотложению в осадочных бассейнах с последующим формированием россыпей различных генетических типов. Образованиями позднего палеозоя, в формировании которых значительную роль сыграли позднедевонские–раннекаменноугольные КВ, являются породы лапчанской, ботубинской и борулойской свит.

В базальных горизонтах *лапчанской свиты* ( $C_2l$ ), соответствующей нижним частям верхнепалеозойских отложений района, отмечается самое высокое (по сравнению с другими толщами верхнего палеозоя) количество галек

кислых (гранитоидного состава) эффузивов (в 2–2,5 раза больше), известняков, известковистых песчаников и доломитов (больше в десятки раз), что указывает не только на преобладающую роль в период накопления осадков лапчанской свиты местного материала, но и на поступление гальки эффузивов преимущественно из среднепалеозойских образований. Грубозернистость материала и присутствие большого количества обломков в различной степени выветрелых терригенно-карбонатных пород свидетельствует о незначительной отдалённости участков накопления этих отложений от источников сноса, что, в свою очередь, говорит о возможном развитии среднепалеозойских осадков небольшой мощности и в пределах рассматриваемой площади. Это подтверждается также и близким морфологическим обликом минералов лёгкой и тяжёлой (рис. 4, а) фракций отложений лапчанской свиты с вулканогенно-кластическими образованиями среднего палеозоя и описанными выше КВ на терригенно-карбонатных породах раннего палеозоя. В разрезах лапчанской свиты, непосредственно залегающих на КВ терригенно-карбонатных пород, в нижних горизонтах отмечены максимальные концентрации каолинита и диоктаэдрической гидрослюда  $2M_1$ . Однако встречаются случаи, когда в нижних горизонтах лапчанской свиты диоктаэдрическая гидрослюда почти полностью исчезает (см. рис. 4, б). Пелитовой составляющей пород лапчанской свиты свойственна повышенная концентрация Mg-Fe-хлорита, по структурно-морфологическим особенностям близкого к установленному в КВ терригенно-карбонатных пород. Это, как и содержание, и состав грубообломочного материала, а также минеральные парагенезисы лёгкой, тяжёлой и глинистой фракций, позволяет считать, что в период формирования осадков лапчанской свиты в них преобладали продукты переотложения КВ терригенно-карбонатных пород раннего палеозоя и кластические образования среднего палеозоя при подчинённой роли выветрелых пород основного и ультраосновного составов.

В грубообломочном комплексе образований *ботубобинской свиты* ( $P_1bt$ ) определено повышенное (до 60 %) содержание гальки кварцитов. Отсортирован обломочный материал в базальных горизонтах свиты обычно плохо. Не отмечены чёткие закономерности и в распределении главнейших минералов лёгкой, тяжёлой и глинистых фракций, что указывает на неравномерное распределение здесь переотложенного материала древних КВ. Основные породообразующие минералы – кварц и полевые шпаты. Для тяжёлой фракции характерны эпидот, различной степени окатанности циркон, турмалин, апатит, а также чешуйчатые выделения биотита, лепидомелана, мусковита, хлорита (см. рис. 4, а). Для нижних горизонтов характерны монтмориллонит, а также неупорядоченные МГСО и ВМСО, что свидетельствует о возрастании в этих частях разреза продуктов выветривания основного и ультраосновного составов и уменьшении влияния терригенно-карбонатных пород (см. рис. 4, б).

В грубообломочных породах *борулойской свиты* ( $P_2br$ ) несколько увеличивается содержание обломков кварца. Основное отличие пород свиты от нижележащих каменноугольных и пермских отложений сводится к широкому присутствию в лёгкой и тяжёлой фракциях слюдистых минералов (биотита, мусковита и лепидомелана), нередко с примазками аутигенных железистых выделений. В пелитовой составляющей преобладают монтмориллонит и неупорядоченные МГСО и ВМСО, а в проницаемых породах (песчаниках и алевролитах) – пойменные и озёрно-болотные фации и каолинит. Соответственно снижается содержание гидрослюда и хлорита. Анализ особенностей минерального состава отложений борулойской свиты позволяет утверждать, что в процессе их формирования доминирующее влияние оказали продукты выветривания основных пород (среднепалеозойского возраста). Изменение по разрезу свиты концентрации каолинита и диоктаэдрической гидрослюда  $2M_1$  подчёркивает различные концентрации материала продуктов выветривания терригенно-карбонатных пород.



Различные особенности и характер концентрации материала различных типов древних КВ характерны и для перспективных для поисков коренных и россыпных месторождений алмазов мезозойских осадочных толщ Западной Якутии. В мезозое в пределах АВНМП имелись, как уже отмечалось, две структурно-формационные зоны, которые характеризовались специфическими особенностями строения, наложившими определённый отпечаток на формировавшиеся осадки. Первая (северо-западная) зона, совпадает с северо-западным бортом АВНМП и располагается в пределах траппового плато (рис. 5). Здесь существовали условия денудационной и денудационно-аккумулятивной равнины, благоприятные для накопления осадков, в которых превалирует местный материал [3–5, 15–18, 24]. В это время вдоль бровки северо-западного борта прогиба в пределах МБАР на поверхность выходили кимберлитовые диаатремы. Вторая (юго-восточная) зона совпадает с центральной (приосевой) частью прогиба, где в условиях низменной аллювиальной равнины (для иреляхской и укугутской свит) накапливались отложения, обогащённые преимущественно чуждым району полиминеральным материалом (рис. 6).

Таким образом, проведёнными исследованиями на примере отдельных алмазоносных районов Сибирской платформы показано, что результаты комплексного изучения древних КВ и продуктов их перемыва и переотложения можно успешно использовать при геолого-поисковых работах на закрытых территориях, в частности при стратиграфических и литолого-палеогеографических реконструкциях. Так, для верхнепалеозойских отложений рассмотренной территории характерна различная концентрация переотложенного материала древних КВ. Влияние выветрелых образований на формирование древних осадочных толщ может быть оценено не только на основании петрографического изучения грубообломочного материала, но и по результатам детального анализа фракций всего спектра минерального состава указанных толщ. Для характеристики степени выветрелости

материала в осадочных толщах можно использовать также структурные особенности слоистых силикатов, в частности соотношение основных базальных отражений диоктаэдрических слюд. В формировании рассматриваемых отложений, очевидно, определённое значение имеет терригенный материал, привнесённый из отдалённых кристаллических массивов. Однако, если он и присутствует в верхнепалеозойских отложениях изученных алмазоносных районов, то, вероятнее всего, связан с переотложением из более древних (в первую очередь, среднепалеозойских) толщ. Устанавливается чёткая зависимость обогащённости верхнепалеозойских отложений продуктами переотложения КВ от структурного положения конкретного участка, обуславливающего развитие здесь благоприятной для этого палеогеографической обстановки (подножий склонов и конусов выноса, денудационной или денудационно-аккумулятивной равнины). Верхнепалеозойские отложения, обогащённые продуктами переотложения КВ, тяготеют территориально к конседиментационным палеоподнятиям и их склонам, что имеет (при наличии в них кимберлитового материала) важное поисковое значение.

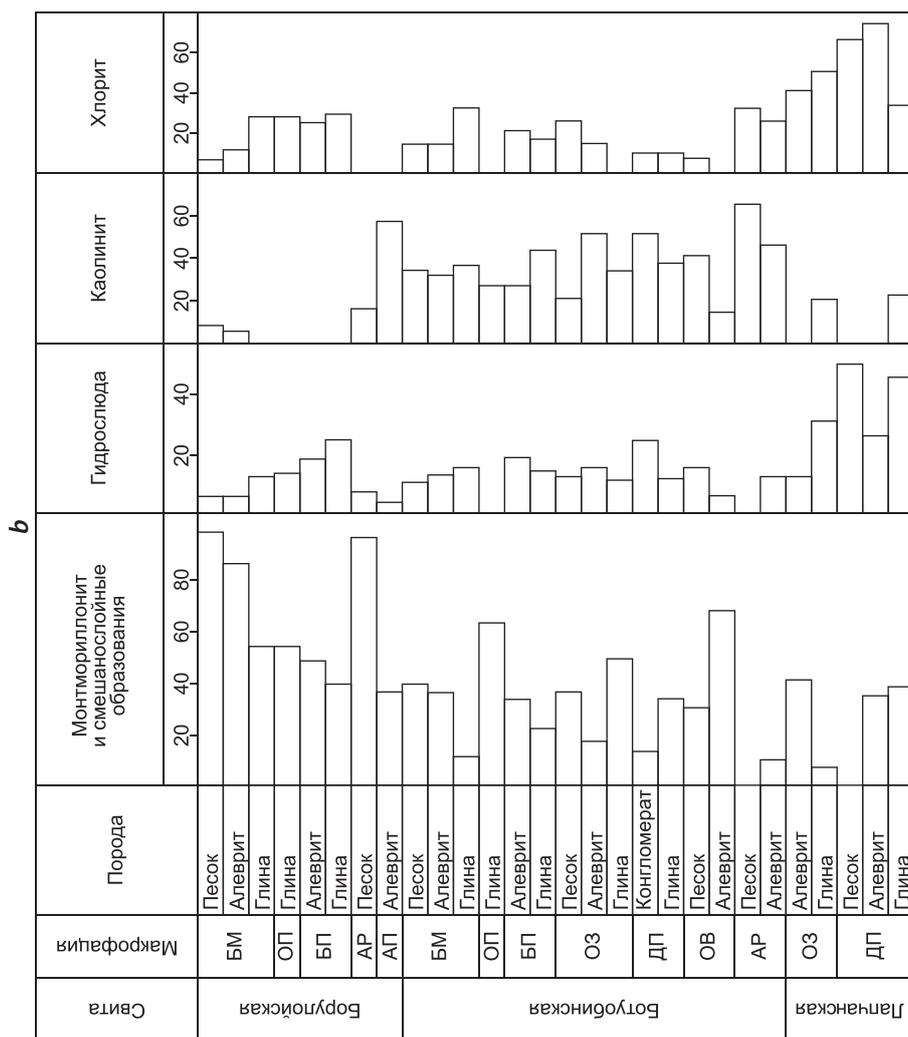
В отличие от МБАР локализация продуктов переотложения КВ в верхнепалеозойских отложениях ДААР характеризуется довольно специфическими чертами, что существенно облегчает проведение поисковых работ на территории последнего и делает их более эффективными. Здесь оконтуривание в базальных горизонтах каменноугольно-пермских отложений ореолов рассеяния продуктов перемыва и переотложения выветрелого кимберлитового материала приводит к открытию новых диаатрем – источников этих продуктов. Это позволяет считать данные ореолы в большинстве своём первичными, т. е. не связанными с переотложением материала из более древних вторичных коллекторов. Для мезозойского времени в целом характерны специфические особенности перемыва и переотложения продуктов древних КВ, обусловленные развитием в МБАР двух структурно-формационных зон.





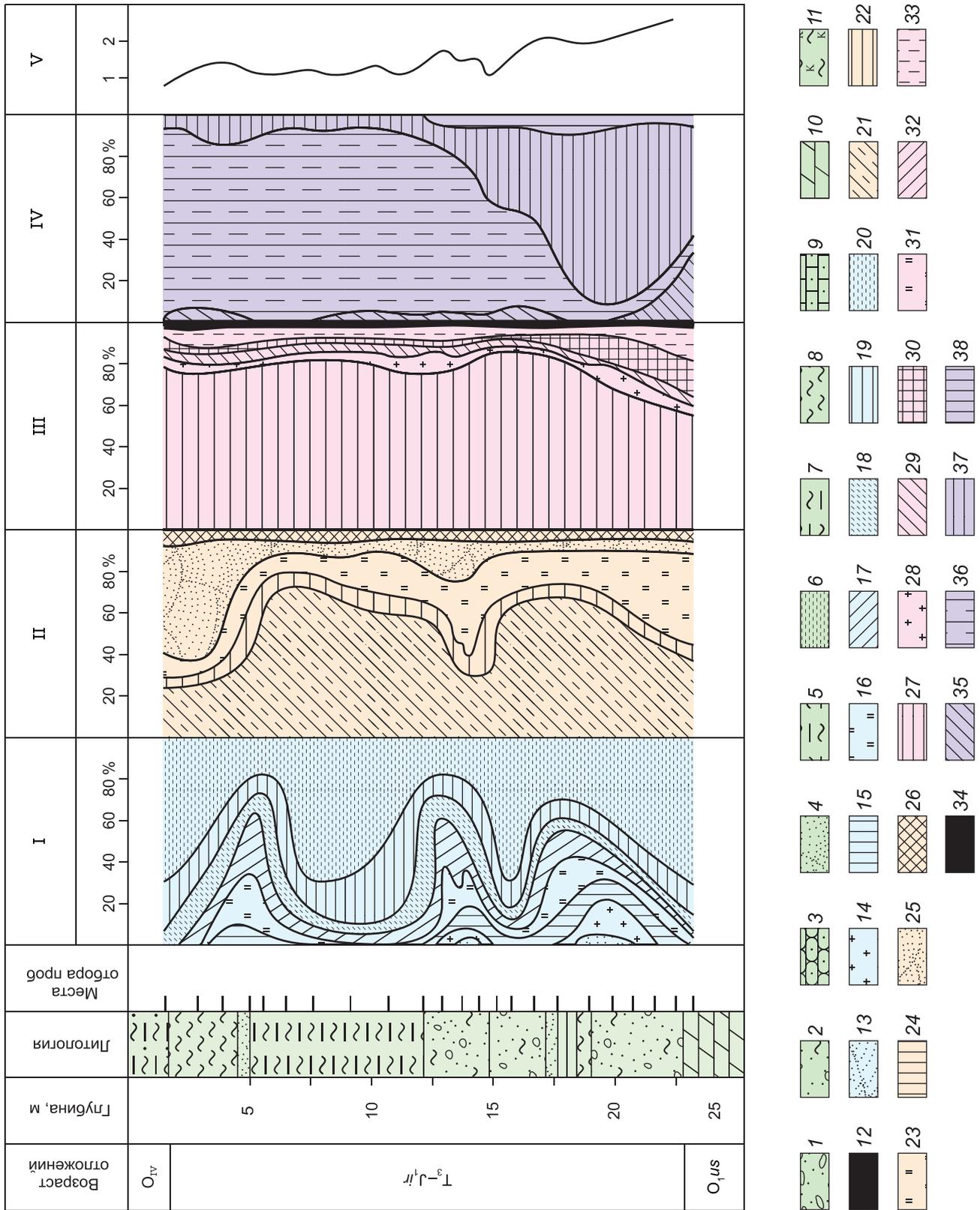
**Рис. 4. Среднее содержание (%) в образцах: а – основных минералов тяжелой фракции (0,1–0,05 мм) в образованиях позднелеозойского возраста МБАР; б – основных глинистых минералов во фракции мельче 0,001 мм, выделенной из пород позднелеозойского возраста восточного борта Тунгусской синеклизы:**

макрофации отложений: АР – русловых, АП – пойменных, ДП – делювиальных, ПК – пролювиальных, ОВ – озёрных отложений речных (преимущественно аллювиально-дельтовых и прибрежно-морских) равнин, ОЗ – зарастающих, слабоаблачивающихся озёр и заиляющихся торфяных болот речных аллювиально-дельтовых и прибрежно-морских равнин, РП – заиляющихся речных аллювиально-дельтовых и прибрежно-морских равнин, БП – заливно-лагунного прибрежного мелководья морского бассейна, БМ – открытого подвижного мелководья морского бассейна; ОП – заиляющихся речных аллювиальных и прибрежно-морских равнин



**Fig. 4. Average content (in %) of the main minerals of the heavy fraction (0,1–0,05 mm) in the Late Paleozoic MBDR formations; b – main clay minerals in the fraction finer than 0,001 mm, isolated from the rocks of the Upper Paleozoic age of the eastern side of the Tunguska syncline:**

sediment microfacies: AP – channel; АП – floodplain; ДП – diluvial; ПК – proluvial; ОВ – lacustrine deposits of river (mainly alluvial-deltaic and coastal-marine) plains; ОЗ – overgrowing, slightly swampy lakes and silting peat bogs of river alluvial-deltaic and coastal-marine plains; РП – silting river alluvial-deltaic and coastal-marine plains; БП – bay-lagoon coastal shallow water of the sea basin; БМ – open mobile shallow sea basin; ОП – silting river alluvial and coastal-marine plains



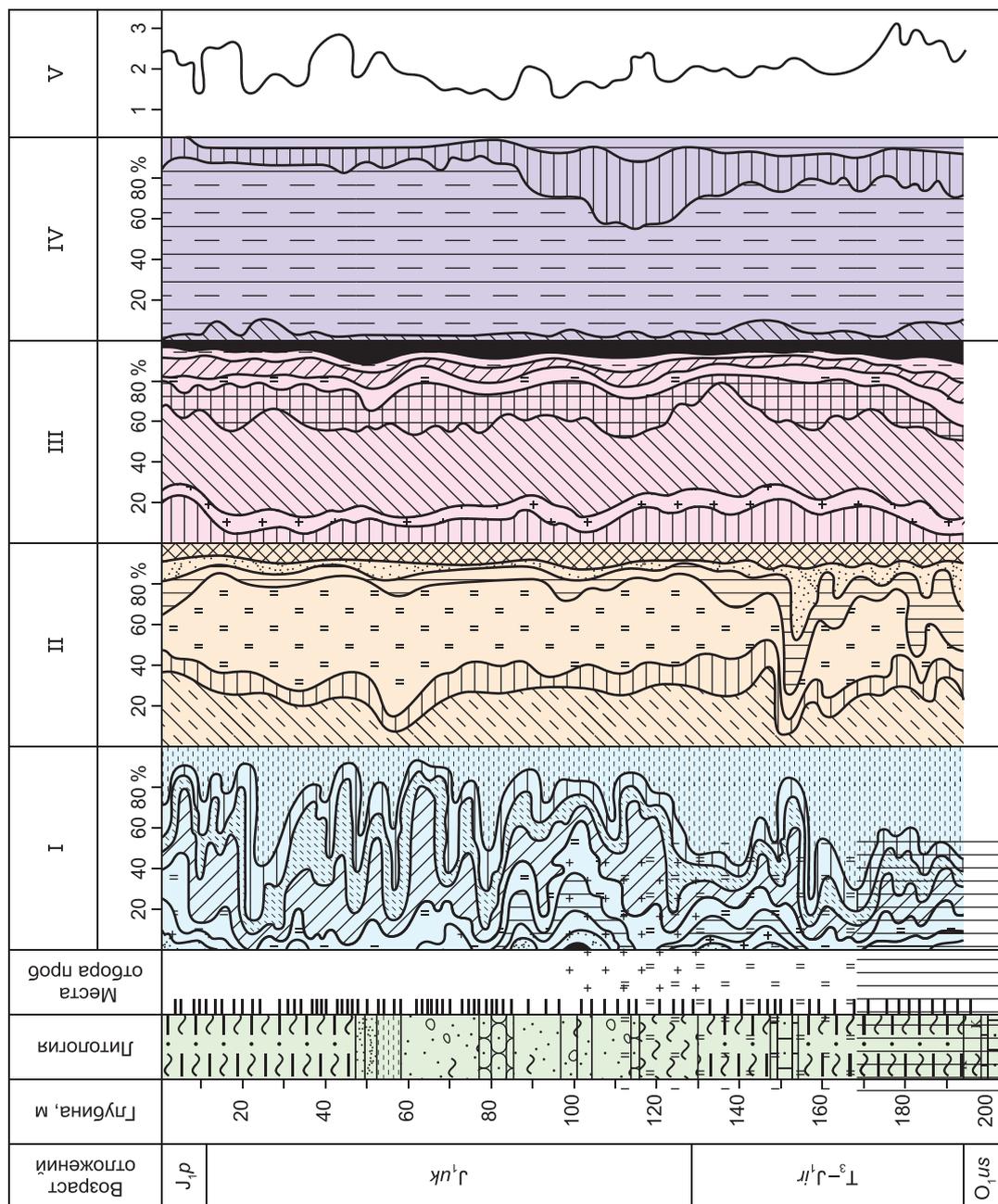


### Рис. 5. Литолого-стратиграфический разрез отложений иреляхской свиты, вскрытых скважиной 31,5/5 (центральная часть МБАР):

литологическая колонка: 1 – галечники с гравием, 2 – галечники с песком, 3 – песчаники, 4 – пески, 5 – песчано-алеврито-глинистые породы, 6 – алевриты, 7 – алевритистые глины, 8 – глины, 9 – известковистые песчаники, 10 – доломиты, 11 – КВ; I – гранулометрический состав пород (мм): 12 – крупнее 2,5, 13 – 2,5–1,0, 14 – 1,0–0,75, 15 – 0,75–0,5, 16 – 0,5–0,25, 17 – 0,25–0,1, 18 – 0,1–0,05, 19 – 0,05–0,01, 20 – мельче 0,01; II – минеральный состав лёгкой фракции (0,1–0,05 мм): 21 – кварц, 22 – калиевые полевые шпаты, 23 – плагиоклазы, 24 – кремнисто-глинистые агрегаты, 25 – глинисто-железистые агрегаты, 26 – мусковит, биотит, хлорит и др.; III – минеральный состав терригенной части тяжёлой фракции (0,1–0,05 мм): 27 – ильменит и магнетит, 28 – лейкоксенизированный ильменит, 29 – минералы группы эпидота (эпидот, цоизит, клиноцизит и др.), 30 – амфиболы, 31 – турмалин, апатит, 32 – гранаты, 33 – циркон, 34 – сфен, пироксены, дистен и др.; IV – минеральный состав лёгкой фракции (0,1–0,05 мм): 35 – гидрослюда, 36 – монтмориллонит и неупорядоченные монтмориллонит-гидрослюдистые смешанослойные образования, 37 – хлорит, вермикулит; V – соотношение  $J(10 \text{ \AA}) : J(5 \text{ \AA})$

Fig. 5. Lithological and stratigraphic section of the deposits of the Irel'yakh suite cut by well 31,5/5 (central part of MBDR):

lithological core: 1 – pebbles with gravel, 2 – pebbles with sand, 3 – sandstone, 4 – sands, 5 – sandy-silty-argillaceous rocks, 6 – siltstone, 7 – silty clays, 8 – clays, 9 – calcareous sandstone, 10 – dolomite, 11 – weathering crust; I – granulometric composition of rocks (in mm): 12 – larger than 2,5, 13 – 2,5–1,0, 14 – 1,0–0,75, 15 – 0,75–0,5, 16 – 0,5–0,25, 17 – 0,25–0,1, 18 – 0,1–0,05, 19 – 0,05–0,01, 20 – smaller than 0,01; II – mineral composition of the light fraction (0,1–0,05 mm): 21 – quartz, 22 – potassium feldspar, 23 – plagioclase, 24 – siliceous-argillaceous aggregates, 25 – clay-ferruginous aggregates, 26 – muscovite, biotite, chlorite, etc.; III – mineral composition of the terrigenous part of the heavy fraction (0,1–0,05 mm): 27 – ilmenite and magnetite, 28 – leucogenized ilmenite, 29 – minerals of the epidote group (epidote, zoisite, clinozoisite, etc.), 30 – amphibole, 31 – tourmaline and apatite, 32 – garnet, 33 – zircon, 34 – titanite, pyroxenes, disthene, etc.; IV – mineral composition of the light fraction (0,1–0,05 mm): 35 – hydromica, 36 – montmorillonite and disordered montmorillonite-hydromicaceous mixed-layer formations, 37 – kaolinite, 38 – chlorite and vermiculite; V – the ratio  $J(10 \text{ \AA}) : J(5 \text{ \AA})$



**Рис. 6. Литолого-стратиграфический разрез мезозойских отложений, вскрытых скв. 814 в центральной части АВНМГ:**

усл. обозн. см. рис. 5

Fig. 6. Lithological and stratigraphic sections of the Mesozoic deposits cut by the well no 814 in the central part of Angara Vilyui superimposed Mesozoic trough: see Fig. 5 for legend



Приведённые на примере древних осадочных толщ основных алмазоносных районов СП (МБАР и ДААР) материалы о возможном использовании при прогнозно-поисковых работах результатов литолого-минералогических исследований КВ и продуктивных на алмазы отложений можно успешно применять при изучении аналогичных толщ других алмазоносных районов СП, а также в других регионах древних платформ мира. Комплексное исследование формации КВ и продуктов их переотложения в перспективных на алмазы регионах должно обязательно проводиться на всех стадиях работ и в первую очередь – при прогнозно-поисковых на закрытых территориях. Собранный с большими финансо-

во-материальными затратами каменный материал на таких территориях в обязательном порядке следует подвергнуть комплексным пофракционным литолого-минералогическим исследованиям, а не ограничиваться извлечением из него шлихов для анализа лишь минералов тяжёлой фракции, составляющей в большинстве случаев первые доли процентов от общего объёма пород. Неоценимую и полезную для практических целей информацию можно получить при изучении минералов лёгкой и, особенно, глинистой фракций, составляющих в верхних частях выветрелых кимберлитовых трубок до 95–99 % объёма, переводя их в разряд апокимберлитовых образований.

## Список литературы

1. 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.
2. 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.
3. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Логинова А. М. Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. – 2009. – Т. 138, № 2, С. 1–13.
4. Афанасьев В. П., Зинчук Н. Н., Тычков С. А. Проблема алмазоносности Сибирской платформы // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2002. – № 1. – С. 19–36.
5. 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. – № 3 (9). – С. 37–55.
6. 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.
7. Зинчук Н. Н. Сравнительная характеристика вещественного состава коры выветривания кимберлитовых пород Сибирской и Восточно-Европейской платформ // Геология и геофизика. – 1992. – № 7. – С. 99–109.
8. Зинчук Н. Н. Задачи и возможности литолого-минералогических исследований при алмазопроисковых работах на закрытых территориях // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 2008. – С. 314–325.
9. Зинчук Н. Н., Борис Е. И., Яныгин Ю. Т. Особенности минерализации алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). – М. : Мирнинская городская типография, 2004. – 172 с.

10. 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.
11. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И., Борис Е. И., Лунашова А. Н. Типоморфизм алмазов из россыпей Сибирской платформы как основа поисков алмазных месторождений // Руды и металлы. – 1999. – № 3. – С. 18–31.
12. Зинчук Н. Н., Мельник Ю. М., Серенко В. П. Апокимберлитовые породы // Геология и геофизика. – 1987. – № 10. – С. 66–72.
13. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Крайнов А. В. Кимберлиты в истории Земли. Учебное пособие // Труды НИИ геологии Воронежского государственного университета. – Воронеж : ВГУ, 2013. – Вып. 68. – 100 с.
14. Зинчук Н. Н., Специус З. В., Зуенко В. В., Зуев В. М. Кимберлитовая трубка Удачная. Вещественный состав и условия формирования. – Новосибирск : НГУ, 1993. – 147 с.
15. Квасница В. Н., Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм микрокристаллов алмаза. – М. : Недра, 1999. – 224 с.
16. 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.
17. Котельников Д. Д., Зинчук Н. Н. Типоморфные особенности и палеогеографическое значение слюдястых минералов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 1996. – № 1. – С. 53–61.
18. 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.
19. Мацюк С. С., Зинчук Н. Н. Оптическая спектроскопия минералов верхней мантии. – М. : Недра, 2001. – 428 с.
20. 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.
21. 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.
22. Vasilenko V. B., Kuznetsova L. G., Minin V. A., Tolstov A. V. Petrochemical evaluation of the Diamond potential of Yakutian kimberlite fields // Geochemistry International. – 2010. – V. 48, № 4. – P. 346–354.
23. 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, № 2. – P. 1297–1301.
24. 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.

## References

1. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N. Osnovnye litodinamicheskie tipy oreolov indikatornykh mineralov kimberlitov i obstanovki ikh formirovaniya [The main lithodynamic types of halos of indicator minerals of kimberlites and the conditions of their formation], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 1999, V. 41, No 3, pp. 281–288. (In Russ.).
2. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. Poligenez almazov v svyazi s problemoi korennykh rossypei severo-vostoka Sibirskoi platformy [Polygenesis of diamonds in connection with the problem of indigenous placers of the Northeast Siberian platform], *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 1998, V. 361, No 3, pp. 366–369. (In Russ.).
3. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Loginova A. M. Osobennosti raspredeleniya rossypnykh almazov, svyazannykh s dokembriiskimi istochnikami [Features of the distribution of placer diamonds associated with Precambrian sources], *Zapiski Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva* [Notes of the Russian Mineralogical Society], 2009, V. 138, No 2, pp. 1–13. (In Russ.).



4. Afanas'ev V. P., Zinchuk N. N., Tychkov S. A. Problema almazonosnosti Sibirskoi platformy [The problem of diamond bearing of the Siberian platform], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya* [Bulletin of the Voronezh State University. Geology], 2002, No 1, pp. 19–36. (In Russ.).
5. Vasilenko V. B., Zinchuk N. N., Kuznetsova L. G. Geodinamicheskii kontrol' razmeshcheniya kimberlitovykh polei tsentral'noi i severnoi chastei Yakutskoi kimberlitovoi provintsii (petrokhimicheskii aspekt) [Geodynamic control of the placement of kimberlite fields in the central and northern parts of the Yakut kimberlite province (petrochemical aspect)], *Vestnik Voronezhskogo gosuniversiteta. Geologiya* [Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology], 2000, No 3 (9), pp. 37–55. (In Russ.).
6. Egorov K. N., Zinchuk N. N., Mishenin S. G., Serov V. P., Sekerin A. P., Galenko V. P., Denisenko E. P., Baryshev A. S., Men'shagin Yu. V., Koshkarev D. A. Perspektivy korennoi i rossypnoi almazonosnosti Yugo-Zapadnoi chasti Sibirskoi platformy [Prospects of indigenous and placer diamond bearing in the Southwestern part of the Siberian platform], *Geologicheskie aspekty mineral'no-syr'evoi bazy Aktsionernoi kompanii "ALROSA": sovremennoe sostoyanie, perspektivy, resheniya. Dopolnitel'nye materialy po itogam regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Aktual'nye problemy geologicheskoi otrasli AK "ALROSA" i nauchno-metodicheskoe obespechenie ikh reshenii", posvyashchennoi 35-letiyu YaNIGP TsNIGRI AK "ALROSA"* [Geological aspects of mineral-the raw material base of the Joint-Stock Company "ALROSA": current state, prospects, solutions. Additional materials on the results of the regional scientific and practical conference "Actual problems of the geological branch of ALROSA and scientific and methodological support of their solutions", dedicated to the 35th anniversary of the YANIGP TSNIGRI of ALROSA], Mirnyi, MGT Publ., 2003, pp. 50–84.
7. Zinchuk N. N. Sravnitel'naya kharakteristika veshchestvennogo sostava kory vyvetrivaniya kimberlitovykh porod Sibirskoi i Vostochno-Evropeiskoi platformy [Comparative characteristics of the material composition of the weathering crust of kimberlite rocks of the Siberian and East European platforms], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 1992, No 7, pp. 99–109. (In Russ.).
8. Zinchuk N. N. Zadachi i vozmozhnosti litologo-mineralogicheskikh issledovaniy pri almazoposkovykh rabotakh na zakrytykh territoriyakh [Tasks and opportunities of lithological and mineralogical research during diamond prospecting in closed territories], *Problemy prognozirovaniya i poiskov mestorozhdenii almazov na zakrytykh territoriyakh* [Problems of forecasting and prospecting for diamond deposits in closed territories], Yakutsk, YaNTs SO RAN Publ., 2008, pp. 314–325.
9. Zinchuk N. N., Boris E. I., Yanygin Yu. T. Osobennosti mineragenii almaza v drevnikh osadochnykh tolshchakh (na primere verkhnepaleozoiskikh otlozhenii Sibirskoi platformy) [Features of diamond mineralogeny in ancient sedimentary strata (on the example of Upper Paleozoic deposits of the Siberian platform)], Moscow, Mirninskaya gorodskaya tipografiya Publ., 2004, 172 p.
10. Zinchuk N. N., Zuev V. M., Koptil' V. I., Chernyi S. D. Strategiya vedeniya i rezul'taty almazoposkovykh rabot [Strategy of conducting and results of diamond prospecting operations], *Gornyi vestnik* [Mountain Messenger], 1997, No 3, pp. 53–57. (In Russ.).
11. Zinchuk N. N., Koptil' V. I., Boris E. I., Lipashova A. N. Tipomorfizm almazov iz rossypei Sibirskoi platformy kak osnova poiskov almaznykh mestorozhdenii [Typomorphism of diamonds from placers of the Siberian platform as a basis for searching for diamond deposits], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 1999, No 3, pp. 18–31. (In Russ.).
12. Zinchuk N. N., Mel'nik Yu. M., Serenko V. P. Apokimberlitovye porody [Apokimberlite rocks], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 1987, No 10, pp. 66–72. (In Russ.).
13. Zinchuk N. N., Savko A. D., Krainov A. V. Kimberlity v istorii Zemli. Uchebnoe posobie [Kimberlites in the history of the Earth. Textbook], *Trudy NII geologii Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the Research Institute of Geology of Voronezh State University], Voronezh, VGU Publ., 2013, V. 68, 100 p.
14. Zinchuk N. N., Spetsius Z. V., Zuenko V. V., Zuev V. M. Kimberlitovaya trubka Udachnaya. Veshchestvennyi sostav i usloviya formirovaniya [Kimberlite pipe Udachnaya. Material composition and

- conditions of formation], Novosibirsk, NGU Publ., 1993, 147 p.
15. Kvasnitsa V. N., Zinchuk N. N., Koptil' V. I. Tipomorfizm mikrokrystallov almaza [Typomorphism of diamond microcrystals], Moscow, Nedra Publ., 1999, 224 p.
  16. Kotel'nikov D. D., Dombrovskaya Zh. V., Zinchuk N. N. Osnovnye zakonomernosti vyvetrivaniya silikatnykh porod razlichnogo khimicheskogo i mineralogicheskogo tipa [Basic laws of weathering of silicate rocks of various chemical and mineralogical types], *Litologiya i poleznye iskopaemye* [Lithology and Mineral Resources], 1995, No 6, pp. 594–601. (In Russ.).
  17. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Tipomorfnye osobennosti i paleogeograficheskoe znachenie slyudistykh mineralov [Typomorphic features and paleogeographic significance of micaceous minerals], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka* [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 1996, No 1, pp. 53–61. (In Russ.).
  18. Kotel'nikov D. D., Zinchuk N. N. Osobennosti glinistykh mineralov v otlozheniyakh razlichnykh osadochnykh formatsii [Features of clay minerals in deposits of various sedimentary formations], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka* [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration], 1997, No 2, pp. 53–63. (In Russ.).
  19. Matsyuk S. S., Zinchuk N. N. Opticheskaya spektroskopiya mineralov verkhnei mantii [Optical spectroscopy of upper mantle minerals], Moscow, Nedra Publ., 2001, 428 p.
  20. Khar'kiv A. D., Zuenko V. V., Zinchuk N. N., Kryuchkov A. I., Ukhanov A. V., Bogatykh M. M. Petrokhimiya kimberlitov [Petrochemistry of kimberlites], Moscow, Nedra Publ., 1991, 304 p.
  21. Khitrov V. G., Zinchuk N. N., Kotel'nikov D. D. Primenenie klaster-analiza dlya vyyasneniya zakonomernostei vyvetrivaniya porod razlichnogo sostava [Application of cluster analysis to clarify the patterns of weathering of rocks of different composition], *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 1987, V. 296, No 5, pp. 1228–1233. (In Russ.).
  22. Vasilenko V.B., Kuznetsova L.G., Minin V.A., Tolstov A.V. Petrochemical evaluation of the Diamond potential of Yakutian kimberlite fields, *Geochemistry International*, 2010, V. 48, No 4, pp. 346–354.
  23. 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, pp. 1297–1301.
  24. 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, pp. 576–588.

## Автор

### Зинчук Николай Николаевич

доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, академик АН РС (Я)  
председатель ЗЯНЦ  
nnzinchuk@rambler.ru

Западно-Якутский научный центр (ЗЯНЦ) АН РС (Я),  
г. Мирный, Россия

## Author

### Nikolai N. Zinchuk

PhD  
Professor, Academician of the Academy of Sciences  
of the Republic of Sakha (Yakutia)  
Chairman  
nnzinchuk@rambler.ru

West Yakutsk Scientific Center of the Academy of Sciences  
of the Republic of Sakha (Yakutia), Mirny, Russia