УДК 553.81(673)
© В.Н.Устинов, 2017

Условия формирования мезозойских и кайнозойских коллекторов алмазов Северо-Восточной Анголы

В.Н.УСТИНОВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 199155, Санкт-Петербург, ул. Одоевского, д. 24, корп. 1)

На основании проведенных литолого-фациальных и фациально-динамических исследований восстановлены условия формирования верхнемеловых алмазоносных отложений формации Калонда и палеоген-неогеновых образований группы Калахари Северо-Восточной Анголы в пределах южного борта синеклизы Конго. Установлен фациальный состав отложений, вмещающих ореолы рассеяния индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) и россыпи алмазов. Показано, что поиски погребенных россыпей следует ориентировать на выявление прежде всего русловых аллювиальных залежей в основании циклита С-1 формации Калонда, образованных в активных динамических обстановках и выполняющих транзитные палеодолины. Возможно обнаружение мелких месторождений в делювиальных отложениях и русловых фациях меандрирующих рек, залегающих выше по разрезу. Отложения верхних частей циклитов, сформированных в малоактивных и пассивных динамических обстановках аллювиальных равнин, как правило, неалмазоносны.
При поисках коренных месторождений необходимо учитывать, что русловые аллювиальные, делювиальные и озерные ореолы рассеяния ИМК в отложениях формации Калонда удалены от кимберлитовых трубок на близкие и умеренные расстояния. Фациальная интерпретация различных литотипов отложений позволяет реконструировать палеогеографические условия формирования ореолов, восстанавливать пути транспортировки ИМК и алмазов, оконтуривать области сноса и аккумуляции, что в конечном итоге дает возможность выделять участки локализации кимберлитовых тел.
Ключевые слова: терригенные коллекторы алмазов, фация, динамический тип, россыпь, коренной источник, месторождение, кимберлитовая трубка, Северо-Восточная Ангола.

Устинов Виктор Николаевич alrosaspb@mail.ru

Conditions of formation of Mesozoic and Cenozoic diamond-bearing rocks of North-Eastern Angola

V.N.USTINOV (Federal State Unitary Enterprise Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, FSUE TsNIGRI)

Conditions of formation of diamond-bearing rocks of Upper Cretaceous Calonda Formation and Paleogene-Neogene Kalahari Group of North-Eastern Angola within the southern slope of Congo syneclise were reconstructed based on lithological-facial and facial-dynamic studies. Facial composition of formations hosting dispersion haloes of kimberlite indicator minerals (KIMs) and diamond placers is found. It is shown that prospecting for buried placers should be focused on identification of channel alluvial deposits in the base of C-1 cyclite of Calonda Formation which were formed in active dynamic environments and fill transit paleovalleys. It is possible to discover small-scale deposits in talus sediments and channel facies of meandering rivers occuring up the section. Formations of upper parts of cyclites formed in inactive and passive environments of alluvial valleys which are, as a rule, nondiamondiferous.
In prospecting for primary diamond deposits one should take into account that channel alluvial, talus and lacustrine KIMs dispersion haloes in Calonda Formation are transported from kimberlite pipes at short and moderate distances. Facial interpretation of various lithological types allows to reconstruct paleogeographic environments of haloes formation, to restore KIMs and diamonds transport avenues, to delineate denudation and accumulation areas which makes possible to distinguish sites of kimberlite bodies location.
Key words: terrigenous diamond-bearing rocks, facies, dynamic type, placer, primary source, deposit, kimberlite pipe, North-Eastern Angola.

На Северо-Востоке Анголы установлено более 700 кимберлитовых тел, объединенных в 12 полей (рис. 1), что ставит эту территорию в разряд уникальных по масштабам проявления кимберлитового магматизма. Возраст кимберлитов – 133–112 млн. лет [6–10]. Тела представлены в основном трубками взрыва, размеры которых варьируют в широких пределах: от 0,1 до 160 га. В их число входят 14 кимберлитовых трубок, являющихся действующими или потенциальными месторождениями алмазов с содержаниями 0,5–1,0 кар./т.

Отличительная черта Северо-Восточной Анголы, располагающейся в пределах южного борта синеклизы Конго, – широкое распространение проявлений россыпной алмазоносности. В 2016 г. на ее территории было добыто более 9 млн. карат алмазов, в том числе около 2 млн. карат из мезозойских и кайнозойских россыпей.

Значительная часть выявленных кимберлитовых тел находится в долинах рек в экспонированном состоянии. Это объясняется тем, что поисковые работы были сосредоточены в основном на открытых площадях, являющихся наиболее простыми для обнаружения кимберлитовых тел. На Северо-Востоке Анголы открытые территории составляют всего 20 % от общей площади. В то же время поисковые работы в последнее время направлены на открытие погребенных месторождений алмазов (рис. 2). Глубины залегания выявленных в 2010–2017 гг. коренных месторождений достигают 60–70 м, а древних россыпей – до 40–45 м. При больших мощностях перекрывающих отложений разработка россыпей считается пока нерентабельной.

В настоящее время основные перспективы алмазоносности территории связаны с погребенными раннемеловыми кимберлитовыми трубками, которые перекрыты толщей терригенных коллекторов алмазов мощностью до 100 и более метров. Перекрывающие образования представлены позднемеловыми отложениями формации Калонда, палеоген-неогеновыми образованиями группы Калахари и четвертичными осадками. Значительным потенциалом алмазоносности обладают древние позднемеловые россыпи.

Прогнозирование и поиски погребенных месторождений обычно происходят по заключенным в них ореолам рассеяния индикаторных минералов кимберлитов и родственных пород (ИМК): пиропу, пикроильмениту, хромшпинелиду, хромдиопсиду и другим, а также алмазу, которые занимают закономерное положение в разрезах отложений и заключены в определенных фациальных, динамических типах пород и формах палеорельефа. Ореолы характеризуются повышенными содержаниями ИМК относительно фоновых и нередко включают промышленные россыпи алмазов.

Восстановление условий формирования древних терригенных коллекторов формации Калонда и группы Калахари, наиболее приближенных ко времени формирования кимберлитов, является крайне актуальной задачей. Такие исследования позволяют выявить фациальный состав и динамические типы отложений, которые характеризуются определенными способами и дальностью транспортировки продуктов разрушения кимберлитов, особенностями их палеогеоморфологической позиции, что в конечном итоге влияет на выбор методики геологоразведочных работ и оценку перспектив россыпной и коренной алмазоносности площадей.

При фациальном расчленении терригенных коллекторов алмазов, проводимом как по керну скважин, так и по обнажениям, исследовался комплекс признаков, главными из которых являются: структура и гранулометрический состав отложений; текстурные особенности пород (типы и характер слоистости и слоеватости); особенности внутреннего строения разрезов; степень насыщенности разрезов растительным детритом; частота встречаемости и сохранность фаунистических остатков; взаимоотношение с другими фациями в разрезах и на площади; положение в палеорельефе; сходство с аналогичными современными осадками, фациальная принадлежность которых четко установлена [3].

Под динамическим типом понимается совокупность отложений, сформированных в различных фациальных обстановках под воздействием гидродинамических сил различной интенсивности (активных, малоактивных, пассивных).

Разрезы мезозойских и кайнозойских коллекторов представлены циклитами различных порядков, которые хорошо прослеживаются по площади (рис. 3). Формация Калонда является циклитом II порядка (С), который состоит из двух циклитов меньшего ранга (С-1 и С-2). Группа Калахари (К) представлена одним циклитом I порядка.

На основании проведенного литолого-фациального анализа предложена схема фациального расчленения отложений формации Калонда и группы Калахари южного склона синеклизы Конго (рис. 4). В составе отложений формации Калонда выделяются делювиальная, аллювиальная и озерная макрофации (табл. 1).

Делювиальные отложения (до 3,0 м) представлены слабосортированными глинистыми песками с редким гравием и галькой. Обломочный материал характеризуется различными классами окатанности. Гальки кварца чаще всего хорошо окатаны и поступали, вероятно, из более древних терригенных коллекторов. Обломки пород ближайшего геологического окружения (песчаники, алевролиты, гранитоиды и др.) не окатаны или слабо окатаны. В отложениях развита пологая наклонная или косая слоеватость, обусловленная ориентировкой обломочного материала. Эмпирические полигоны распределения (ЭПР) песчаных фракций чаще полимодальные и бимодальные (рис. 5, табл. 2). Делювиальные отложения установлены в отложениях пакета С-1. Они залегают на склонах речных долин и предполагаются на склонах тектонических депрессий, по простиранию замещаются аллювиальными и озерными образованиями. В них установлены ореолы рассеяния

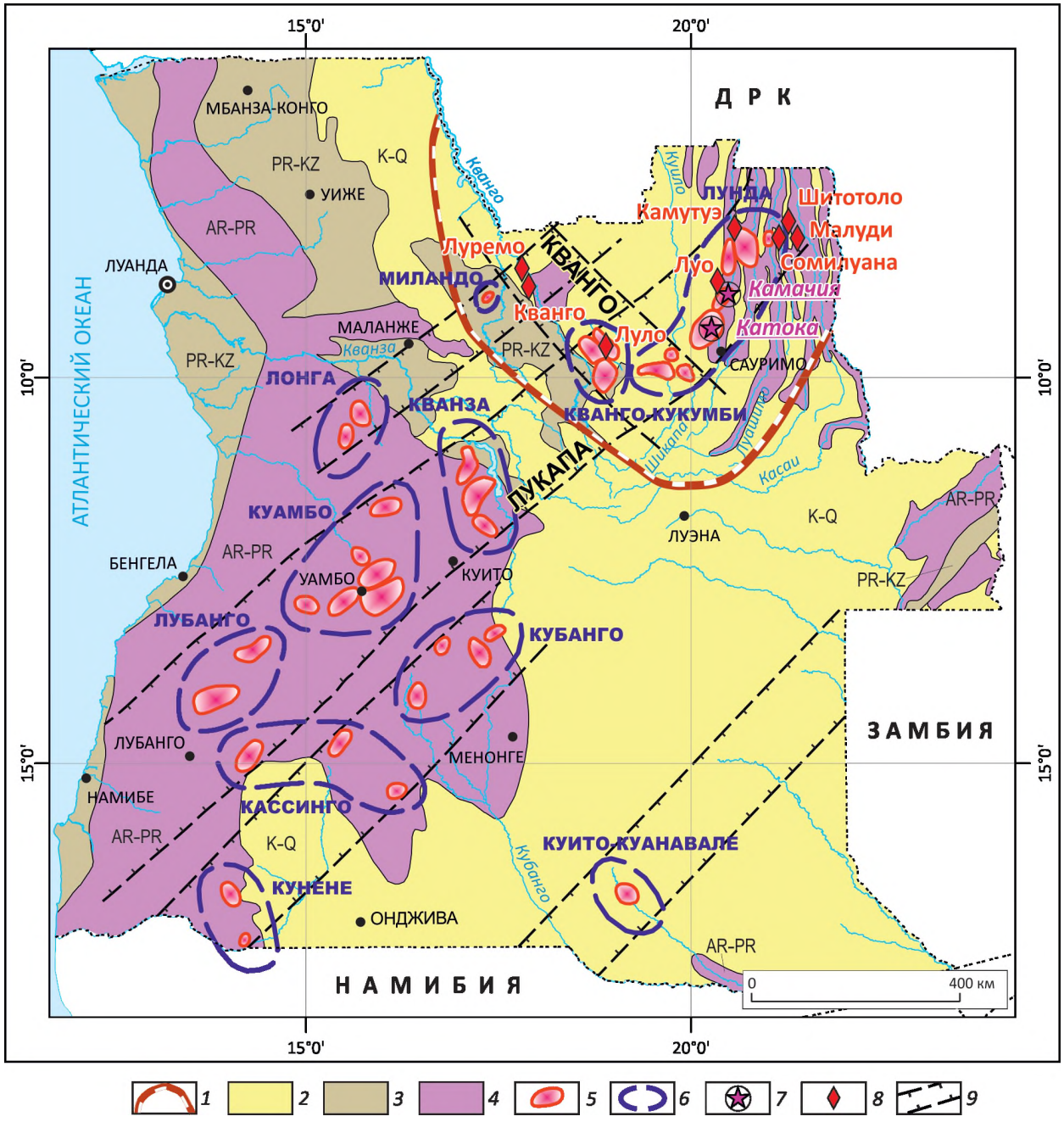

Рис. 1. Территория исследований алмазоносных отложений Северо-Востока Анголы:

1 – территория исследований; *2* – терригенные коллекторы алмазов мезозоя (формация Калонда) и кайнозоя (группа Калахари); *3* – протерозойско-кайнозойские образования платформенного чехла; *4* – архейско-протерозойские породы кристаллического основания; *5* – кимберлитовые поля; *6* – кимберлитовые районы; *7–8* – месторождения алмазов: *7* – в раннемеловых кимберлитах, *8* – в позднемеловых отложениях формации Калонда; *9* – кимберлитоконтролирующие зоны

ИМК. Промышленные россыпи к настоящему времени не известны, хотя присутствуют россыпные проявления с содержаниями до 0,1 кар./м^3.

Аллювиальные отложения представлены мелкоцикличнопостроенными толщами пород, постепенно грубеющих вниз по разрезу каждого циклита от глинистых алевролитов или тонкозернистых песчаников до грубозернистых песчаников, гравелитов и конгломератов. Циклиты перекрывают друг друга со следами явного размыва.

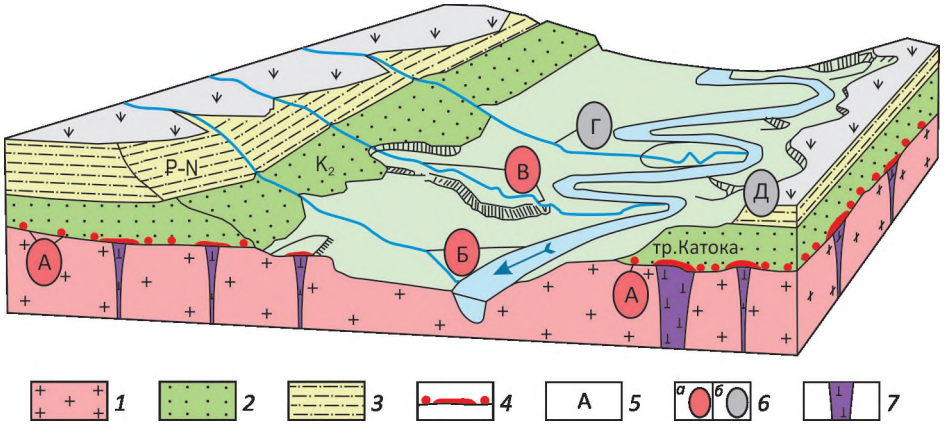

Рис. 2. Геологическая позиция кимберлитовых трубок Северо-Восточной Анголы. *По работе* [5] *с дополнениями*:

1 – породы архейско-раннепротерозойского фундамента; *2–3* – терригенные коллекторы алмазов: *2* – позднемеловые, *3* – палеоген-неогеновые; *4* – ореолы рассеяния ИМК, вмещающие россыпи алмазов; *5* – генетические типы россыпей (буквы в овалах): А – аллювиальные (мелких водотоков) в отложениях формации Калонда, сформированные за счет прямого размыва кимберлитов (первичные), Б – аллювиальные (мелких водотоков), сформированные за счет размыва позднемеловых конгломератов и коренных источников (смешанные), В– делювиальные (смешанные) на пологих склонах, Г – аллювиальные в днищах крупных рек (смешанные или вторичные), Д – аллювиальные на террасах крупных рек (смешанные или вторичные); *6* – содержание алмазов в россыпях (кар./м^3): *а* – 0,05–0,5 и *б* – <0,05; *7* – раннемеловые кимберлитовые трубки

Грубообломочные разности (от 0,2–0,5 до 5–6 м), залегающие в основании элементарных циклитов, характеризуются грубой косой (20–25°) слоистостью и слоеватостью. В разрезе отложений пакета С-1 они выполняют четко выраженные отрицательные формы палеорельефа глубиной вреза до 10–15 м, которые интерпретируются как транзитные палеодолины, возникшие на этапе максимальной активизации тектонических движений в позднемеловое время. В отложениях нижнего пакета формации Калонда эти образования, характеризующиеся наиболее грубым литологическим составом, интерпретируются как русловые фации транзитных рек. В составе этих образований встречается разноразмерный крупнообломочный материал, представленный преимущественно плохо окатанными местными породами (песчаниками, гранитоидами и др.), реже – хорошо окатанными гальками кремней и кварца. Породы плохо отсортированы (см. табл. 2), отличаются преимущественно бимодальными распределениями ЭПР. Именно в этих фациях встречаются все известные промышленные россыпи алмазов южного склона синеклизы Конго. Содержания алмазов чаще всего составляют 0,1–0,3 кар./м^3 (иногда до 0,5 кар./м^3), месторождения отрабатываются открытым способом.

В нижней части разреза отложений пакета С-2 русловая фация представлена чаще всего разнозернистыми песчаниками, иногда с гравием и галькой, реже гравелитами и конгломератами. Выше по разрезу они сменяются разнозернистыми косослоистыми (до 20–25°) песчаниками, образующими разнонаправленные серии мощностью 0,5–1,0 м. Степень сортировки отложений выше, чем у русловой фации транзитных рек. ЭПР одномодальные, с хвостом грубых фракций, реже бимодальные. Отложения этого типа формировались в условиях меандрирующих водотоков в пределах широко развитых во время образования пакета С-2 озерно-аллювиальных равнин. На основании комплекса признаков они отнесены к русловой фации меандрирующих рек. Отложения алмазоносны, но промышленные россыпи не известны.

Вверх по разрезам и по простиранию русловые фации сменяются пойменными отложениями (0,5–1,0 м), представленными мелко-, среднезернистыми песчаниками, которые характеризуются пологой (5–7°) косой, волнистой и линзовидной слоистостью, характерно укрупнение зернистости вниз по разрезу. Сортировка отложений средняя и слабая, ЭПР одномодальные. Отложения пойм в разрезах и по простиранию замещаются русловыми и старичными фациями. Залегают в средних и верхних частях элементарных циклитов. В средних частях разрезов пакетов С-1 и С-2 пойменные отложения чередуются чаще всего с русловыми образованиями.

Наиболее полные разрезы элементарных аллювиальных циклитов обычно венчаются старичной фацией, которая представлена алевритистыми глинами бурого цвета мощностью 0,3–0,5 м. Они залегают в виде линз, имеющих четко выраженные контакты с ниже- и

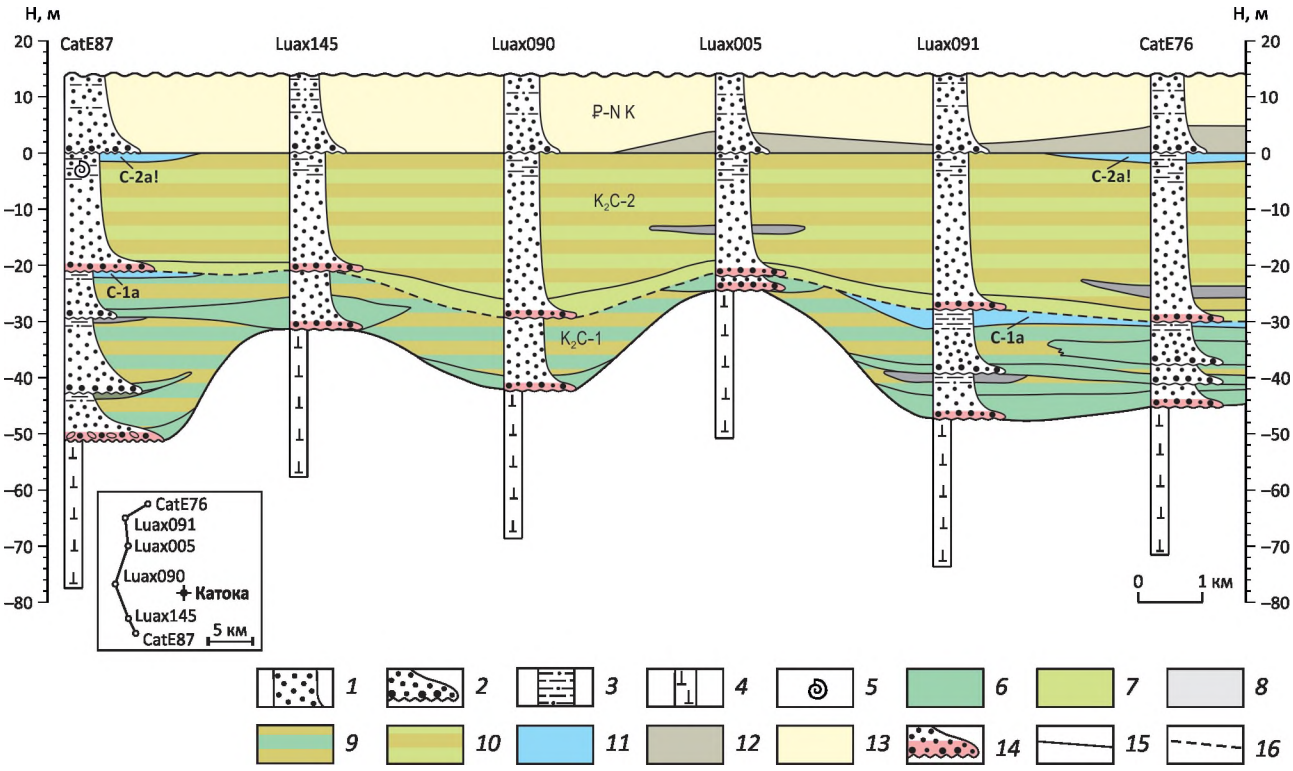

Рис. 3. Литолого-фациальный разрез алмазоносных отложений формации Калонда и группы Калахари (за нулевой уровень принята кровля маркирующего горизонта С-2а!):

1 – песчаники, грубеющие вниз по разрезу; *2* – гравелиты и конгломераты; *3* – алевролиты и глины; *4* – породы кимберлитовых трубок; *5* – находки фаунистических остатков; *6–13* – фации и макрофации: *6* – русловая транзитных рек, *7* – русловая меандрирующих рек, *8* – старичная, *9* – чередование русловой фации транзитных рек и пойменной, *10* – чередование русловой фации меандрирующих рек и пойменной, *11* – озерная, *12* – пролювиальная, *13* – эоловая; *14* – отложения, содержащие алмазы и ИМК; *15–16* – границы: *15* – фациальные, *16* – стратиграфические (циклитов С-1 и С-2)

вышележащими отложениями, для них характерна горизонтальная, линзовидная и пологоволнистая тонкая слоистость. Мощность слойков чаще всего составляет 0,1–0,2 мм. ЭПР одномодальные, открыты в сторону тонких фракций.

Озерные отложения представлены чаще всего глинистыми алевритами, реже алевритистыми глинами и тонкозернистыми песками. Для них характерна горизонтальная, линзовидная или пологоволнистая тонкая (0,1–0,3 мм) слоистость. ЭПР одномодальные, с хвостом грубых фракций. В составе этой макрофации выделяются озерная фация озерно-аллювиальных равнин и озерная фация тектонических депрессий.

Фация озерно-аллювиальных равнин залегает в верхних частях пакетов С-1 и С-2 и слагает маркирующие горизонты толщи С-1а и С-2а!. Они образуют крупные линзы мощностью 1,0–1,5 м, имеющие четкие контакты. Образование отложений озерной фации знаменует этапы тектонической стабилизации территории, которые соответствуют максимальным трансгрессивным фазам морского бассейна, существовавшего за пределами южного склона синеклизы Конго. ИМК в этих отложениях не установлены.

Озерная фация тектонических депрессий в областях развития этих форм рельефа полностью слагает разрезы формации Калонда, которые в их пределах имеют мощности до 120 м. Типичным примером является депрессия на площади Луанге (80 км юго-западнее трубки Катока). Особенность озерных отложений – наличие в них ореола рассеяния ИМК ближнего переноса, сформированного в результате размыва кимберлитовых тел поля Луанге.

Отложения формации Калонда перекрыты образованиями толщи Калахари (табл. 3) мощностью от 10 до 40 м. Они представлены, как правило, разнозернистыми охристыми однородными песками, отложение которых происходило преимущественно в эоловых обстановках. На контакте отложений формаций Калонда и Калахари в ряде случаев хорошо прослеживается маркирующий горизонт латеритной коры выветривания (0,5–1,0 м), развитой по верхней части разреза отложений позднего мела.

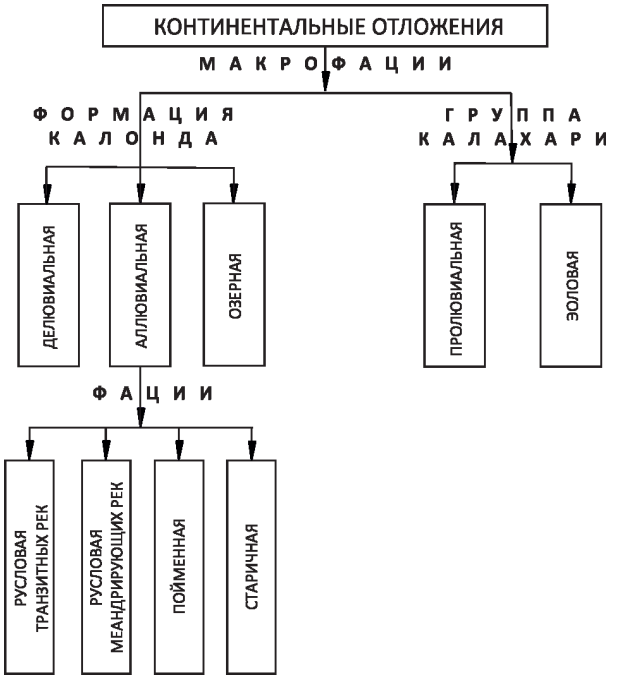

Рис. 4. Схема фациального расчленения отложений формации Калонда и группы Калахари

Пролювиальные отложения (0,5–0,7 м) залегают чаще всего в основании разреза формации Калахари, с размывом перекрывая подстилающие образования. Представлены слабосортированными гравийно-галечными отложениями, реже разнозернистыми песками с гравием и галькой. Залегают в виде линз, выполняя мелкие эрозионные ложбины в толще эоловых отложений. Вмещают ореолы рассеяния ИМК и единичные алмазы.

Эоловые отложения (до 40 м) представлены красно-бурыми тонкозернистыми алевритистыми песками с незначительной примесью глинистой фракции, преимущественно слабосортированными. Слоистость, как правило, отсутствует. Лишь местами встречаются отдельные линзочки (1–2 мм), сложенные более грубым песчаным или более тонким глинисто-алевритовым материалом. Линзочки горизонтальные или пологокосые (5–7°). ЭПР одномодальные. Ореолов рассеяния ИМК не содержат.

По особенностям динамических условий седиментации терригенные коллекторы алмазов формаций Калонда и группы Калахари объединяются в три типа: активный, малоактивный и пассивный (см. табл. 4 и рис. 5).

Активный динамический тип отложений представлен конгломератами, гравелитами и песчаниками (от тонкозернистых до грубозернистых). Характерно преобладание полимодальных и бимодальных структур ЭПР. Степень отсортированности изменяется от плохой до средней, медиана – от 0,17 до 0,38 мм, асимметрия может быть как положительной, так и отрицательной, эксцесс среднепологовершинный и пологовершинный. Транспортировка частиц происходила способом качения (волочения), сальтации и во взвешенном состоянии, в условиях устойчиво-поступательной среды седиментации. К отложениям активного динамического типа относятся аллювиальные русловые образования транзитных и меандрирующих рек, а также пролювиальная макрофация, которые формировались в условиях умеренного и ближнего переноса. С русловой фацией транзитных рек связаны все известные дочетвертичные промышленные россыпи алмазов южного склона синеклизы Конго.

Малоактивный динамический тип отложений представлен преимущественно тонко-, среднезернистыми глинистыми песками и алевритами (алевролитами), иногда с гравием и галькой. Отложения преимущественно слабо отсортированы. Преобладают бимодальные и одномодальные распределения, часто открытые на тонкозернистых фракциях. Характерны пологовершинные и среднепологовершинные кривые распределения, положительные (преимущественно для эоловых и пойменных отложений) и отрицательные значения асимметрии. Медиана изменяется от 0,08 до 0,37 мм. Малоактивный тип отложений включает делювиальную, эоловую макрофации, пойменную фацию транзитных и меандрирующих рек и озерные отложения тектонических депрессий.

Для делювиальных отложений характерна транспортировка обломочного материала способами качения и течения осадков под действием силы тяжести. Перемещение пойменных отложений происходило в условиях прерывисто-поступательных движений среды преимущественно сальтацией, реже во взвеси.

В озерных отложениях, выполняющих тектонические депрессии, встречаются ореолы рассеяния ИМК (поле Луанге), удаленные на относительно незначительные расстояния от коренных источников. Дальность переноса ИМК не превышает 15–16 км. Отметим, что перемещение зерен кимберлитовых минералов до их поступления в конечные бассейны стока происходило при участии склоновых и аллювиальных процессов.

Россыпи алмазов в отложениях малоактивного динамического типа не выявлены, хотя делювиальные отложения местами алмазоносны. Ореолы рассеяния формировались преимущественно в условиях ближнего, реже умеренного переноса.

Пассивный динамический тип отложений представлен алевритистыми глинами, алевритами, реже тонкозернистыми песками. Характерны одномодальные структуры ЭПР, кривые среднепологовершинные и крутовершинные. Асимметрия преимущественно отрицательная, иногда характеризуется положительными значениями. Значения медианы изменяются от 0,06 до 0,2 мм. Степень сортировки осадка слабая. Материал глинистой и алевритовой размерности перемещался в

1. Основные литолого-фациальные особенности терригенных коллекторов алмазов формации Калонда Северо-Восточной Анголы

Формация	Макрофация	Фация	Структура и вещественный состав	Слоистость (мощность слойков, см)	Положение в палеорельефе	Взаимоотношение с другими фациями	Положение в разрезах толщ	Наличие ореолов ИМК, алмазов, (кар./м^3)
Калонда (С)	Делювиальная (Д)		Пески глинистые с редкими гравием и галькой, слабо и плохо сортированные	Местами наклонная, пологая косая слоеватость	Склоны транзитных палеодолин и тектонических депрессий	По простиранию замещаются аллювиальными и озерными отложениями	Нижние и средние части циклита С-1	Ореолы, (<0,1)
	Аллювиальная (А)	Русловая (транзитных рек) (Ар1)	Конгломераты, гравелиты, реже песчаники р/з, с галькой и валунами; сортировка плохая.	Грубая косая слоистость, слоеватость, до 20–25°	Днища транзитных палеодолин	Парагенетически связаны с пойменными фациями	Нижняя часть циклита С-1	Ореолы, (0,1–0,3 до 0,5)
		Русловая (меандрирующих рек) (Ар2)	Песчаники р/з, гравелиты, реже конгломераты; сортировка различная	Косая слоистость (до 20–25°), образующая разнонаправленные серии (от 0,5 до 1,0)	Озерно-аллювиальные равнины	Парагенетически связаны с пойменными фациями	Средняя и верхняя часть циклитов С-1 и С-2	Ореолы, (<0,1)
		Пойменная (Ап)	Песчаники м/з–с/з, средне- и слабосортированные	Пологокосая, 5–7°, пологоволнистая, линзовидная (0,1–0,5)	Днища палеодолин	Замещаются русловыми и старичными фациями	Средняя и верхняя часть циклитов С-1 и С-2	Редкие ИМК
		Старичная (Ас)	Алевриты, глины, средне- и слабосортированные	Горизонтальная, линзовидная, пологоволнистая (0,1–0,2)	Днища палеодолин	В разрезах и по латерали сменяются пойменными фациями	Средняя и верхняя часть циклитов С-1 и С-2	Отсутствуют
	Озерная (О)	Озерная (озерно-аллювиальных равнин) (Ор)	Алевриты, глины, пески т/з, сортировка различная	Линзовидная, (0,1–0,2)	Озерно-аллювиальные равнины	Венчают разрезы аллювиальных фаций	Верхняя часть циклитов С-1 и С-2	Отсутствуют
		Озерная (тектонических депрессий) (От)	Алевриты, пески т/з	Горизонтальная, линзовидная, пологоволнистая (0,1–0,3)	Тектонические депрессии	По простиранию замещаются делювиальными и аллювиальными фациями	Местами слагают полные разрезы толщи	Ореолы

Примечание. р/з – разнозернистые, с/з – среднезернистые, м/з – мелкозернистые, т/з – тонкозернистые.

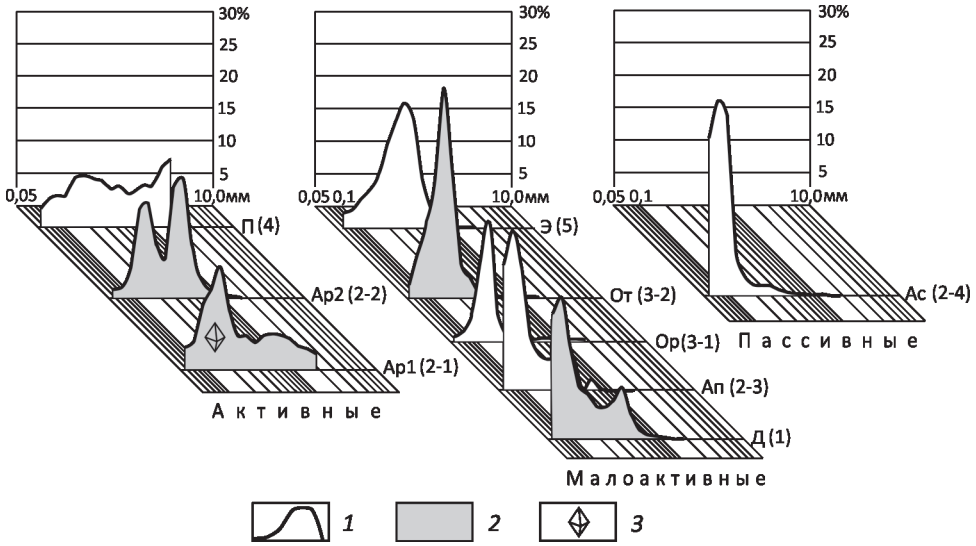

Рис. 5. Динамические типы и фации алмазоносных отложений формации Калонда (1–3) и группы Калахари (4–5) Северо-Восточной Анголы:

1 – эмпирические полигоны распределения песчаной фракции отложений; *2* – фации, вмещающие ореолы рассеяния ИМК; *3* – фации, содержащие промышленные россыпи; индексы и номера соответствуют фациям в табл. 2.

основном во взвешенном состоянии, тонкозернистые песчаные осадки транспортировалась путем сальтации. Преобладание отрицательных значений асимметрии и характер кривых указывают на незначительную динамику среды осадконакопления, которая характеризовалась, главным образом, статическим режимом седиментации при подчиненной роли прерывисто-поступательного.

Пассивный динамический тип отложений включает аллювиальные старичные фации. В отложениях пассивного типа пересортировки ИМК не происходило, и они отлагались в непосредственной близости от областей их поступления.

Комплексные исследования алмазоносных отложений позволили реконструировать палеогеографические обстановки времени размыва коренных источников, аккумуляции ИМК и алмазов в ореолах рассеяния, россыпях (рис. 6) и сделать ряд выводов.

К концу раннего мела территория южного борта синеклизы Конго представляла собой пологохолмистую предельно выположенную поверхность денудационного выравнивания (пенеплен), на поверхности которой в условиях влажного жаркого климата формировались коры выветривания каолинитового состава. Процессы гипергенеза кимберлитовых пород приводили к существенному обогащению алмазами верхних горизонтов трубок. Коэффициент обогащения элювия для известных тел варьирует от 2 до 6 [2, 4]. Поэтому в подобных условиях кимберлиты даже с относительно низкими содержаниями алмазов могли создавать богатые элювиальные россыпи. Следует учитывать, что содержания различных ИМК в каолинитовых корах выветривания также отличаются от их концентраций в кимберлитах за счет коррозии или полного растворения менее устойчивых к химическому выветриванию хромдиопсидов, пиропов, реже пикроильменитов и увеличения содержаний хромшпинелидов. Отчасти этим объясняется незначительное количество ИМК в ореолах, заключенных в отложениях формации Калонда.

В позднем мелу во время активизации тектонических движений и слабых воздыманий территории начинается эрозионная деятельнось, которая приводит к заложению речных долин, размыву кор выветривания и формированию аллювиальных русловых и делювиальных россыпей алмазов и ореолов рассеяния ИМК, залегающих в основании циклита С-1.

Глубина вреза речных долин варьирует от 10 до 60 м. Они характеризуются блюдцеобразными поперечными профилями с шириной днищ до 10–15 км и пологими склонами (15–20´). Уклоны продольных профилей древних речных долин были весьма пологими и составляли менее 1м/км. Такие уклоны обычно характерны для водотоков с относительно низкими скоростями потоков, не превышающими в среднем первых м/сек. Основные направления переноса обломочного материала были ориентированы с юга на север в сторону центральных частей синеклизы Конго. Кайнозойская генерация речных долин, выраженная в современном рельефе, не связана с эрозионными формами позднемелового этапа, она унаследовала лишь общие направления.

2. Основные гранулометрические характеристики песчаных фракций отложений формации Калонда и группы Калахари Северо-Восточной Анголы

Формация, группа	Макрофация	Фация	Характеристика кривых распределения (номера см. на рис. 5)	Md, мм	Стандартное отклонение, Ф	Асимметрия, Ф	Эксцесс, Ф
Калонда	Делювиальная (Д)		Полимодальные и бимодальные, редко одномодальные (1)	0,08–0,16	0,83–1,37	(–0,61)–0,06	0,79–1,56
	Аллювиальная (А)	Русловая (транзитных рек в палеодолинах) (Ар1)	Бимодальные (2-1)	0,17–0,38	1,3–1,78	(–0,46)–(–0,12)	0,58–0,82
		Русловая (меандрирующих рек на озерно-аллювиальных равнинах) (Ар2)	Одномодальные, редко бимодальные (2-2)	0,17–0,3	0,39–1,05	0,00–0,33	0,76–1,38
		Пойменная (Ап)	Бимодальные, реже одномодальные (2-3)	0,13–0,31	0,63–1,15	(–0,35)–0,18	0,83–1,56
		Старичная (Ас)	Одномодальные с хвостом грубых фракций, открыты в сторону тонкой фракции (2-4)	0,06–0,14	0,53–0,90	(–0,69)–0,07	0,89–1,8
	Озерная (О)	Озерная (озерно-аллювиальных равнин) (Ор)	Одномодальные с хвостом грубых фракций (3-1)	0,13–0,2	0,39–0,91	0,08–0,1	1,17–1,28
		Озерная (тектонических депрессий) (От)	Одномодальные с хвостом грубых фракций (3-2)	0,13–0,7	0,46–0,64	0,01–0,18	0,75–1,42
Калахари	Пролювиальная (П)		Полимодальные, часто одномодальные (4)	0,21–0,38	0,9–1,55	(–0,04)–0,28	0,7–0,98
	Эоловая (Э)		Одномодальные (5)	0,17–0,28	0,69–1,08	(–0,05)–0,26	0,93–1,25

Наряду с речными долинами, в пределах южного склона синеклизы Конго в позднем мелу закладываются малоамплитудные тектонические депрессии. Одна из них изучена в районе кимберлитового поля Луанге (см. рис. 6). Депрессия прослеживается в северо-восточном направлении и имеет глубину около 100 м. Ширина днища около 15 км, ширина по бровке составляет 30–40 км. На склонах депрессии и прилегающих водораздельных пространствах расположены два куста кимберлитовых тел: Юго-Восточный и Северо-Западный Луанге. За счет их денудации образован озерный ореол рассеяния, заключенный в образованиях формации Калонда мощностью до 100 м, которые выполняют тектоническую форму, и перекрывающих эоловых и пролювиальных отложениях группы Калахари (до 40 м).

Для ореолов рассеяния, установленных в отложениях формации Калонда, намечается тесная пространственная связь с известными кимберлитовыми телами. Встречаются практически неперемещенные ореолы и россыпи на кимберлитовых телах или в непосредственной близости от них на расстояниях от первых километров до 10–15 км. К завершению образования циклита С-1 рельеф территории существенно выполаживается, а отрицательные формы рельефа заполняются коррелятными осадками. Образование формации Калонда завершается образованием аккумулятивной поверхности выравнивания на значительной части территории, а отложения циклита С-1 перекрывают большую часть раннемелового пенеплена. Лишь на отдельных наиболее возвышенных участках кимберлитовые трубки выходят на дневную поверхность. За счет их денудации образуются ореолы рассеяния ИМК в отложениях циклита С-2 формации Калонда и мелкие аллювиальные россыпные проявления.

Пролювиальные ореолы рассеяния ИМК, установленные в отложениях палеоген-неогеновой группы Калахари, сформированы преимущественно за счет размыва подстилающих отложений формации Калонда.

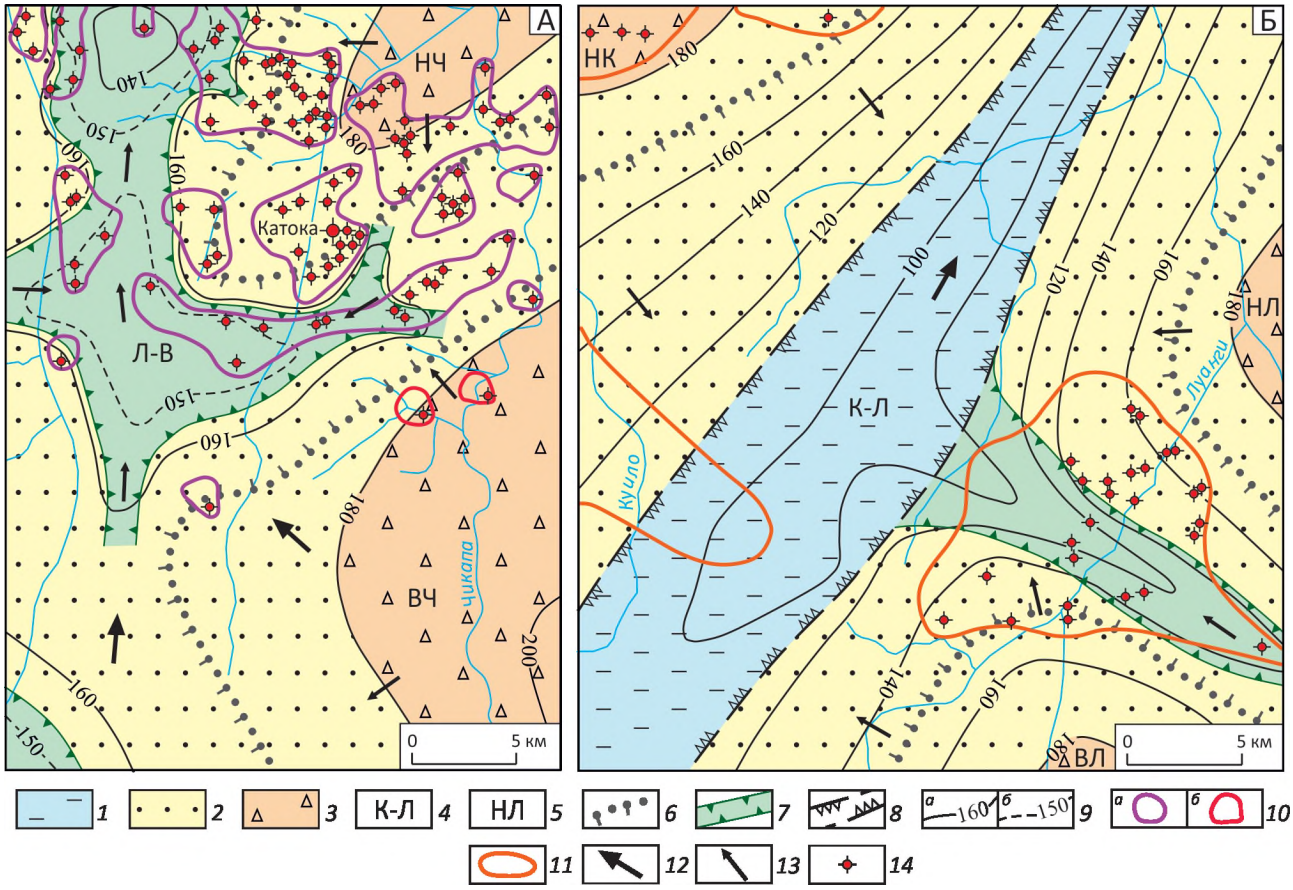

Рис. 6. Палеогеографические схемы позднемелового времени кимберлитовых полей Катока (А) и Луанге (Б) района Лунда на начало формирования формации Калонда:

1–8 – формы и элементы позднемелового рельефа: *1–3* – мегаформы: *1* – субгоризонтальная аккумулятивная низменная равнина, *2* – слабовозвышенная денудационная пологонаклонная равнина; *3* – пологохолмистая денудационная равнина, *4–5* – макроформы: *4* – впадины (Лова (Л-В), Куила (К-Л)), *5* – возвышенности (Верхняя Чикапа (ВЧ), Нижняя Чикапа (НЧ), Верхняя Луанге (ВЛ), Нижняя Луанге (НЛ) и Нижняя Куила (НК)), *6* – границы макроформ, *7–8* – мезоформы: *7* – речные долины, *8* – днища тектонических депрессий; *9* – изогипсы реконструированного рельефа: *а* – достоверные, *б* – предполагаемые; *10* – морфогенетические типы ореолов ИМК регрессивной фазы: *а* – аллювиальные русловые верховьев речных долин, *б* – делювиальные конусов выноса; *11* – ореолы рассеяния ИМК регрессивной и трансгрессивной фаз (озерные в тектонических депрессиях); *12–13* – направления переноса обломочного материала: *12* – основные, *13* – местные; *14* – раннемеловые кимберлитовые тела

Породы кимберлитовмещающего цоколя и кимберлитовые трубки к началу ее формирования находились в погребенном состоянии.

Полученные выводы можно использовать при прогнозировании и поисках погребенных месторождений алмазов в Северо-Восточной Анголе и на сопредельных территориях.

Поиски россыпей алмазов необходимо ориентировать на выявление прежде всего русловых аллювиальных залежей в основании циклита С-1 формации Калонда, образованных в активных динамических обстановках и выполняющих транзитные палеодолины. Возможно выявление мелких месторождений в делювиальных отложениях и русловых фациях меандрирующих рек, залегающих выше по разрезу. Отложения верхних частей циклитов, сформированных в малоактивных и пассивных динамических обстановках аллювиальных равнин, как правило, неалмазоносны.

При поисках коренных месторождений необходимо учитывать, что русловые аллювиальные, делювиальные и озерные ореолы рассеяния ИМК в отложениях формации Калонда удалены от кимберлитовых трубок на близкие и умеренные расстояния. Поэтому правильная фациальная интерпретация различных литотипов отложений позволяет реконструировать палеогеографические условия формирования ореолов, восстанавливать

3. Основные литолого-фациальные особенности терригенных коллекторов алмазов группы Калахари Северо-Восточной Анголы

Группа	Макрофация	Структура и вещественный состав	Слоистость (мощность слойков, см)	Положение в палеорельефе	Взаимоотношение с другими фациями	Положение в разрезах толщ	Наличие ореолов ИМК, алмазов
Калахари (К)	Пролювиальная (П)	Гравийно-галечные отложения, реже пески т/з с гравием и галькой слабосортированные	Не проявлена	Эрозионные ложбины	Встречаются в толщах эоловых фаций	Нижняя, реже средняя часть циклита К	Ореолы, встречаются алмазы
	Эоловая (Э)	Пески р/з, слабосортированные	Местами линзовидная (0,1–0,2)	Эоловая равнина	Вмещают линзы пролювия	Местами слагают полные разрезы	Отсутствуют

4. Динамические типы терригенных коллекторов алмазов формации Калонда и группы Калахари Северо-Восточной Анголы

Динамические типы отложений	Фациальный состав	Литологический состав	Гранулометрические характеристики песчаных фракций					Способы транспортировки	Характер движения среды [1]	Удаленность ореолов ИМК от источников
			Структуры ЭПР (преобладающие)	Характер кривых, в градации Р.Фолка	Асимметрия, Ф	Медиана, мм	Сортировка в градации Р.Фолка			
Активный	Русловые отложения транзитных и меандрирующих рек; пролювиальные отложения	Конгломераты, гравелиты, песчаники (от т/з до г/з)	Полимодальные, бимодальные и одномодальные	Пологовершинные и среднепологовершинные	(–0,46)–0,33	0,17–0,38	Средняя, слабая, плохая	Качение (волочение), сальтация, во взвеси	Устойчиво-поступательный	Ближнего и умеренного переноса
Малоактивный	Делювиальные, пойменные, эоловые, озерные отложения	Пески (с/з, м/з, т/з) глинистые, иногда с гравием и галькой	Бимодальные, одномодальные	Пологовершинные, среднепологовершинные	(–0,61)–0,18	0,08–0,28	Слабая	Сальтация и во взвеси; для делювия – качение и течение осадка	Прерывисто-поступательный	Ближнего, редко – умеренного переноса
Пассивный	Старичные отложения	Глины алевритистые или алевриты глинистые, редко пески	Одномодальные	Среднепологовершинные, крутовершинные	(–0,69)–0,1	0,06–0,2	Слабая	Во взвеси, иногда сальтация	Статический и иногда прерывисто-поступательный	Ближнего переноса

пути транспортировки ИМК и алмазов, оконтуривать области сноса и аккумуляции, что в конечном итоге дает возможность выделять участки возможной локализации погребенных кимберлитовых тел.

В заключение *хочется выразить благодарность руководству компании ЭНДИАМА, Министерству Геологии и Горного Дела Республики Ангола, Институту Геологии Республики Ангола, а также геологам ГРО «Катока», компаний Кванго Эксплорейшн, Сомилуана, Луминаш и др. за предоставленные материалы и оказанную помощь при выполнении работ.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казанский Ю.П.* Введение в теорию осадконакопления. – Новосибирск: Наука, 1983.
2. *Прокопчук Б.И.* Алмазные россыпи и методика их прогнозирования и поисков. – М.: Недра, 1979.
3. *Устинов В.Н.* Методы палеогеографических исследований при прогнозировании и поисках погребенных месторождений алмазов // Руды и металлы. 2008. № 5. С. 27–40.
4. *Устинов В.Н.* Терригенные коллекторы алмазов Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской платформ. – С-Пб: Наука, 2015.
5. *Bluck B.J.* Diamond mega-placers: southern Africa and the Kaapvaal craton`in the global context / B.J.Bluck, J.G.Ward, M.C.J. De Wit // Geological Society: Special Publications, 248. – London, 2005. Pp. 213–245.
6. *Castillo-Oliver M.* Trace-element geochemistry and U-Pb dating of perovskite in kimberlites of the Lunda Norte province (NE Angola): Petrogenetic and tectonic implications / M.Castillo-Oliver, S.Gall, J.C.Melgarejo et al. // Chemical geologia. 2016. Vol. 426. Pp. 118–134.
7. *Jelsma H.* Tectonic setting of kimberlites / H.Jelsma, W.Barnett, S.Richards, G.Lister // Lithos. 2009. Vol. 112S. Pp. 155–165.
8. *Jelsma H.* Kimberlites from Central Angola: a case study of exploration findings / H.Jelsma, U.Krishnan, S.Perritt et al. // 10th International Kimberlite Conference. – Bangalore, 2012.
9. *Robles-Cruz S.E.* U–Pb SHRIMP geochronology of zircon from the Catoca kimberlite, Angola: Implications for diamond exploration / S.E.Robles-Cruz, M.Escayola, S.Jackson et al. // Chemical geologia. 2012. Vol. 310–311. Pp. 137–147.
10. *Robles-Cruz S.E.* Kimberlites associated with the Lucapa structure, Angola. – Universitat de Barcelona, 2013.