ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ АЛМАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕЗОЗОЯ И КАЙНОЗОЯ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АНГОЛЫ

Устинов Виктор Николаевич
доктор геолого-минералогических наук
заведующий лабораторией
alrosaspb@mail.ru

ФГУП Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, Лаборатория геологических методов прогнозирования и поисков, г. Санкт-Петербург

На основе детального литолого-стратиграфического расчленения терригенных коллекторов алмазов формации Калонда и группы Калахари с использованием методики фациально-циклического анализа, комплекса палеонтологических методов, данных по минеральному составу песчаной и глинистой фракций в составе толщ выделены циклиты I порядка, которые прослеживаются в пределах всей территории Северо-Восточной Анголы. Разрез формации Калонда представлен двумя циклитами (С-1 и С-2), в разрезе толщи Калахари выявлен один циклит (К). Установлены локальный и региональный маркирующие горизонты С-1а и С-2а!, которые могут быть использованы для палеогеографических реконструкций. Анализ данных минерального состава терригенных коллекторов показывает, что источниками обломочного материала являлись породы, развитые в пределах ближнего геологического окружения. Сделанный вывод свидетельствует о том, что россыпи алмазов, заключённые в отложениях формации Калонда, удалены от коренных источников на относительно небольшие расстояния. Полученные результаты необходимо использовать при поисках погребённых месторождений алмазов на территории Республики Ангола.

Ключевые слова: терригенные коллекторы алмазов, толща, циклит, минеральный состав, Ангола.

Образования позднемеловой формации Калонда и палеоген-неогеновые отложения группы Калахари слагают верхние части разрезов южного борта синеклизы Конго в пределах Северо-Восточной Анголы. Они перекрывают разновозрастные архейско-протерозойские породы кристаллического основания, терригенные образования рифея–венда, палеозойско-мезозойские осадки (супергруппа Карру), раннемеловые коры химического выветривания и кимберлиты (рис. 1). Образования формации Калонда и группы Калахари обнажаются в долинах рек Кванго, Куило, Касаи, Луашимо и др.

Отложения формации Калонда занимают обширные пространства и на большей части территории южного склона синеклизы Конго характеризуются наличием в них алмазов, образующих многочисленные россыпные месторождения. Нижний возрастной предел её определяется возрастом кимберлитов Северо-Восточной Анголы, который датируется аптом, по данным Х.Джелсма с соавторами, Роблес-Круз с соавторами [6, 8], или готеривом–валанжином, по данным Кастилло-Оливера с соавторами [7]. Верхняя граница установлена на основании сопоставления отложений верхов Калонды с отложениями сеномана–турона формации Кванго. Таким образом, возраст формации условно принимается как позднемеловой.

УДК 553.81:551.76 (673)
© В.Н.Устинов, 2017

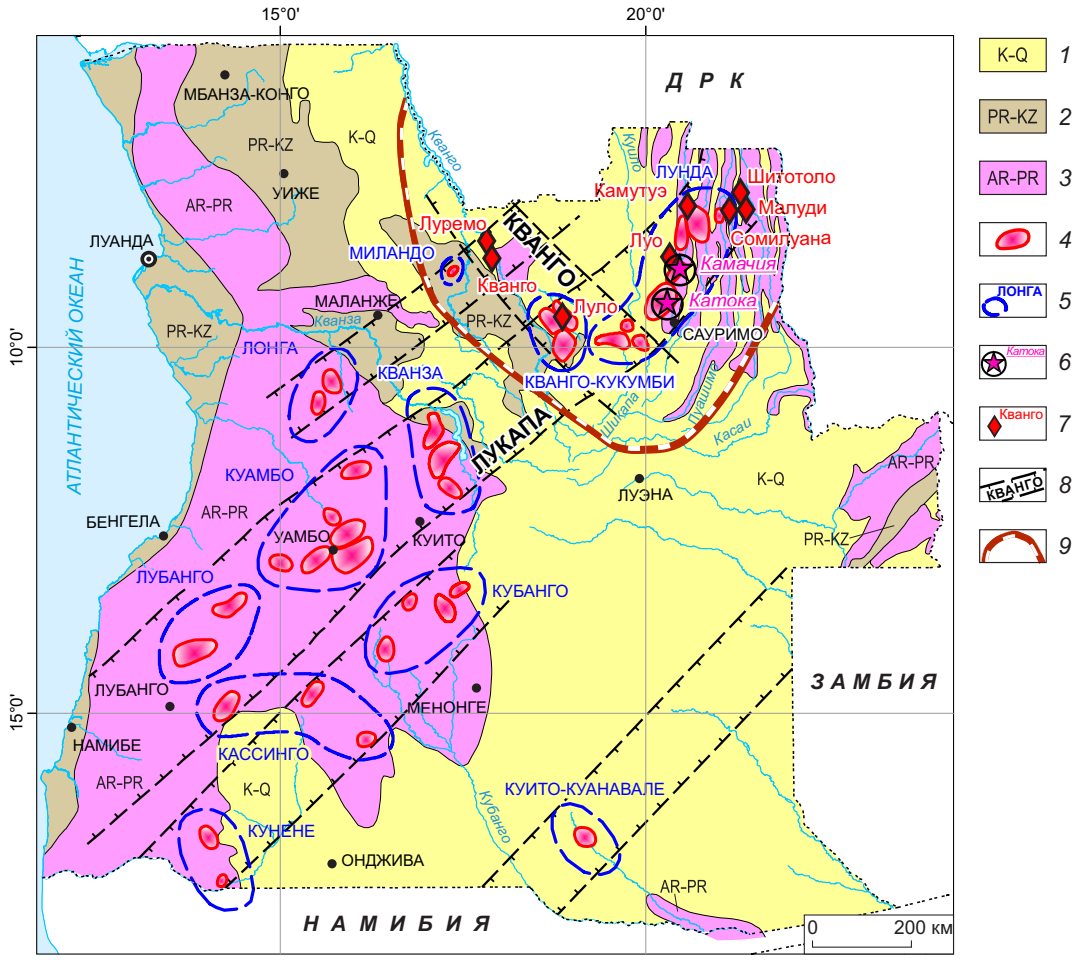

Рис. 1. СХЕМАТИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РЕСПУБЛИКИ АНГОЛА:

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

Мощность отложений изменяется от первых метров до 100 м и более. В основании разреза залегают полимиктовые алмазоносные конгломераты (1–5 м), которые перекрыты преимущественно косослоистыми аркозовыми фиолетовыми песчаниками. Встречаются линзы бурых аргиллитов и внутриформационных алмазоносных конгломератов мощностью 0,5–1,0 м. Верхняя часть разреза формации Калонда представлена бурыми аргиллитами.

Базальные конгломераты формации Калонда близки по возрасту кимберлитам Анголы. Алмазы, высвобождавшиеся при разрушении кимберлитов, аккумулировались главным образом в базальном горизонте толщи, реже – в нескольких маломощных прослоях выше по разрезу. В настоящее время древние конгломераты интенсивно разрабатываются алмазодобывающими компаниями (рис. 2). За счёт размыва терригенных коллекторов формации Калонда формируются наиболее богатые четвертичные аллювиальные россыпи Анголы. Они располагаются, как правило, на площадях выходов на поверхность базальных конгломератов толщи.

Отложения группы Калахари, перекрывающие в разрезах образования формации Калонда, условно датируются палеогеном–неогеном. Их мощность изменяется в широких пределах, местами

Рис. 2. РАЗРАБОТКА РОССЫПЕЙ АЛМАЗОВ, ЗАКЛЮЧЁННЫХ В ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРАХ ФОРМАЦИИ КАЛОНДА (Северо-Восток Анголы)

достигая 100 м и более. Состав отложений группы Калахари относительно однообразен. Они представлены песчаниками или песками, глинистыми песчаниками, гравийно-галечными образованиями (иногда алмазоносными), но промышленные россыпи в них пока не известны.

Комплексные исследования мезозойских и кайнозойских отложений Северо-Восточной Анголы крайне актуальны при проведении поисковых работ в целях выявления погребённых коренных и россыпных месторождений. Изучение стратиграфии и цикличности терригенных коллекторов алмазов – первый этап исследования разрезов осадочных толщ. Он предусматривает детальное расчленение разрезов, привязанных к региональным стратиграфическим шкалам, с использованием палеонтологических методов, корреляцию одновозрастных уровней на площади, выделение маркирующих слоёв для палеогеоморфологических и палеогеографических реконструкций на время формирования продуктивных горизонтов, вмещающих россыпи и ореолы рассеяния индикаторных минералов кимберлитов (ИМК). Минеральный состав терригенных коллекторов алмазов – дополнительный инструмент корреляции толщ, а в ряде случаев выступает в качестве поискового признака [4]. Его анализ позволяет делать заключения о характере существовавшего рельефа и об особенностях вещественного состава размываемых пород.

Основной задачей исследований являлось создание схемы дробного литолого-стратиграфического расчленения терригенных коллекторов алмазов мезозоя и кайнозоя Северо-Восточной Анголы, выделение уровней формирования россыпей алмазов и ореолов рассеяния ИМК.

Фактический материал собран в процессе прогнозно-поисковых работ на алмазы в 2011–2017 гг. на лицензионных площадях различных компаний: Горно-Рудное Общество «Катока», Кванго Эксплорейшн, Сомилуана, Луминаш и др. Литолого-стратиграфические и литолого-фациальные исследования отложений выполнены по десяткам поисковых скважин, естественным обнажениям, стенкам карьеров разрабатываемых кимберлитовых трубок и погребённых россыпей алмазов с привлечением стандартной методики, подробно рассмотренной в ряде работ [4, 5 и др.].

По результатам исследований в разрезе отложений формации Калонда выделены два пакета (циклита I порядка): нижний – С-1 и верхний – С-2 (рис. 3). На большей части территории нижний пакет представлен мелкоциклично построенной толщей пород, зернистость которой постепенно утоньшается вверх по разрезу каждого элементарного циклита от конгломератов, гравелитов и грубозернистых песчаников до тонкозернистых песчаников, глин и алевролитов. Вверх по разрезу мощность таких циклитов возрастает от 2–3 до 15 м. Пакет С-1 нередко венчается глинистыми алевролитами коричневого цвета (пласт С-1а), которые прослеживаются во многих разрезах. В случае отсутствия этих пород в верхах разрезов увеличивается содержание глинистой составляющей, что находит отражение на диаграммах гамма- и электрокаротажа. Пласт можно использовать в качестве локального маркирующего горизонта при корреляции и литолого-стратиграфическом расчленении разрезов формации Калонда. Максимальные мощности отложений пакета С-1, достигающие 50–60 м, отмечаются в пределах позднемеловых речных долин и конседиментационных тектонических депрессий.

Отложения верхнего циклита I порядка формации Калонда (С-2) представлены постепенно изменяющейся по гранулометрическому составу толщей пород от разнозернистых песчаников с гравием, редко мелкогалечных конгломератов в низах разреза до мелко-среднезернистых песчаников в верхах. В целом образования пакета име-

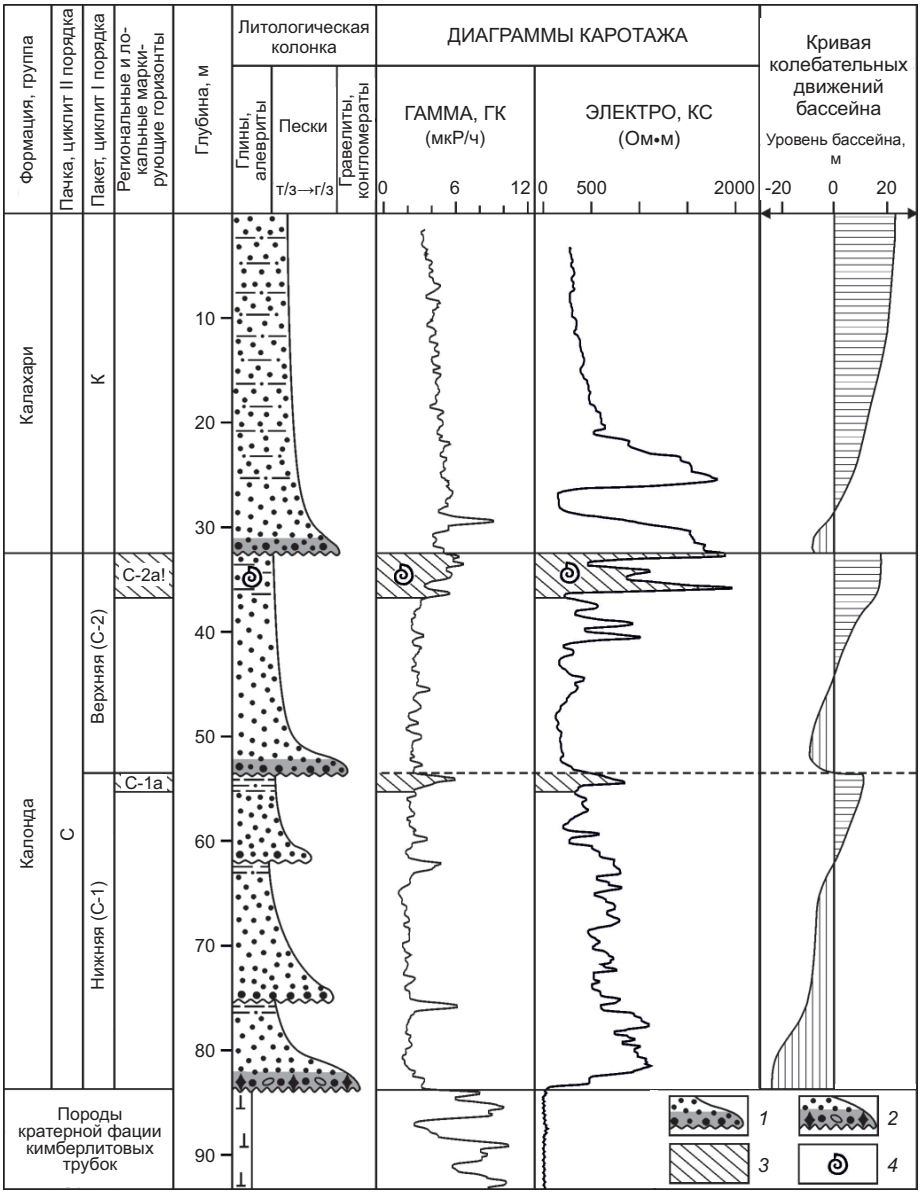

Рис. 3. СВОДНЫЙ ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ МЕЗОЗОЙСКИХ И КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОГО СКЛОНА СИНЕКЛИЗЫ КОНГО:

1 – уровни формирования ореолов рассеяния; *2* – уровни формирования промышленных россыпей алмазов; *3* – маркирующие горизонты; *4* – находки фауны

ют более выдержанные мощности (20–30 м) на площади в отличие от отложений циклита С-1 (рис. 4). В позднемеловых тектонических депрессиях их мощность может возрастать до 40–50 м.

Чаще всего пакет С-2 – это единый циклит I порядка, но в некоторых разрезах в его составе встречаются по два элементарных циклита меньшей мощности. Для верхней части разреза характерно присутствие глинистых алевролитов бурого цвета (пласт С-2а!), образующих линзы мощностью от 1 до 3 м. На диаграммах каротажа они выделяются повышенными значениями гамма-активности и кажущихся сопротивлений. В глинистых алевролитах установлены единичные остракоды, свидетельствующие о бассейновых условиях осадконакопления. Данный уровень может быть использован в качестве регионального маркирующего горизонта для корреляции разрезов отло-

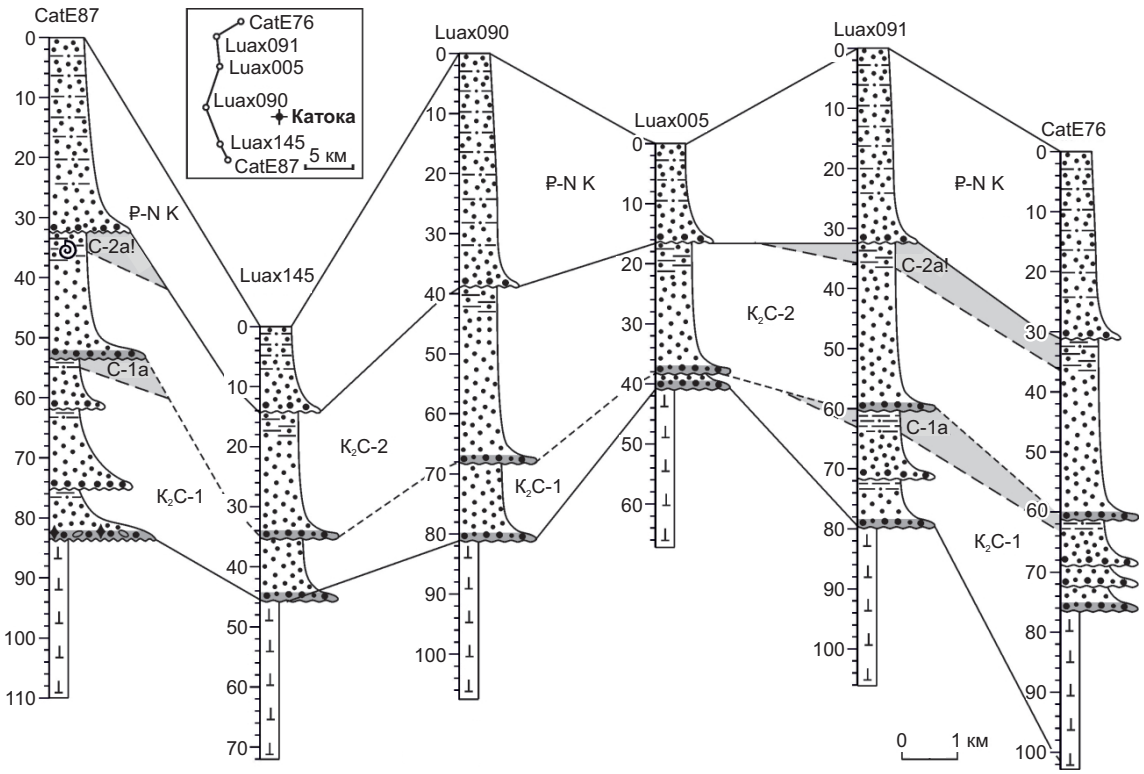

Рис. 4. СХЕМА КОРРЕЛЯЦИИ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ АЛМАЗОВ ФОРМАЦИИ КАЛОНДА И ГРУППЫ КАЛАХАРИ:

усл. обозн. см. рис. 3

жений и реконструкций древнего рельефа в пределах отдельных локальных площадей.

В верхней части разреза отложений формации Калонда отмечаются горизонты мощностью 0,5–1,0 м, представленные образованиями латеритной коры выветривания, которая сложена глинами, насыщенными Fe-Mn оолитоподобными стяжениями.

Таким образом, формация Калонда является циклитом II порядка, состоящим из двух циклитов I порядка. В основании циклитов преобладают русловые аллювиальные фации, залегающие в днищах древних речных долин. Вверх по разрезам циклитов они сменяются делювиальными отложениями и образованиями аллювиальных равнин – чередующимися русловыми, пойменными, старичными и озёрными фациями.

До самого последнего времени органических остатков в отложениях формации Калонда в пределах Северо-Восточной Анголы не было найдено. Нами в образованиях пакета C-1 обнаружена единичная пыльца cf. Cana sp. Отложения циклита C-2 содержат плохо сохранившиеся споры и пыльцу Polypodiaceae gen indet., Lygodium sp. и Tricolpites sp. Растительные остатки и находки остракод не позволяют уточнить возраст формации, но указывают на то, что формирование отложений происходило в пределах выположенной суши в условиях жаркого, переменно-влажного тропического климата. В определённые этапы, совпадающие с заключительными фазами формирования циклитов I порядка, на территории были широко распространены обстановки континентальных бассейнов.

В пределах Северо-Восточной Анголы группа Калахари представлена единым циклитом I порядка (см. рис. 3). В основании разреза наблюдаются брекчии с халцедоном и фрагментами латеритов, иногда базальные конгломераты и гравийники мощностью до 2 м. Крупнообломочный материал состоит из более древних подстилающих образований. Вверх по разрезу залегают полевошпат-кварцевые песчаники, сменяющиеся преимущественно кварцевыми разнозернистыми песчаниками с градационной или перекрёстной слоистостью. В верхней части толщи разви-

ты глинистые песчаники, слабо литифицированные, рыхлые. В песчаниках зафиксированы следы эолового и флювиального переноса, хотя генезис отложений в целом проблематичен. На южном склоне синеклизы Конго нижняя часть свиты, сложенная пролювиальными конгломератами, алмазоносна.

Выявлены редкие растительные остатки – споры и пыльца cf. Lycopodiumsporites, cf. Triletes sp., cf. Oleaceae gen. indet., cf. Tiliaceae gen. indet., cf. Triporites sp., Leotriletes sp., cf. Osmundaceae sp., Polaceae gen. indet., Tricolpites sp., cf. Tricolpites sp., cE Aquilapollenites sp., cf. Ericaceae, Pinus sp.

Отложения группы Калахари перекрыты четвертичными эоловыми, аллювиальными, озёрными, элювиально-делювиальными и другими отложениями.

Таким образом, в разрезе терригенных коллекторов формации Калонда и группы Калахари выделены циклиты I порядка (пакеты), являющиеся литолого-стратиграфическими подразделениями наименьшего ранга и маркирующие горизонты С-1а и С-2а! В регрессивные фазы осадконакопления, при понижениях базиса эрозии, формировались аллювиальные и делювиальные ореолы рассеяния ИМК и русловые россыпи алмазов. Базальные галечники формации Калонда вмещают россыпи со средним содержанием алмазов 0,3 кар/м^3. Русловые аллювиальные ореолы рассеяния ИМК установлены также в грубообломочных отложениях, залегающих в основании пакета С-2, в средней части разреза формации. Алмазы здесь встречаются, но в незначительных концентрациях. В базальном горизонте (до 0,5 м) группы Калахари в пролювиальных образованиях их содержание местами достигает 0,1 кар/м^3.

Опускания территории и повышение базиса эрозии приводили к преобладанию континентальных мелководных бассейнов, в которых накапливались глинисто-алевритовые слои, слагающие маркирующие горизонты толщи Калонда. Их образование относится к завершающим этапам формирования циклитов С-1 и С-2.

Минеральный состав песчаной и глинистой фракций мезозойских и кайнозойских отложений изучен по керну поисковых скважин, пробуренных Горно-Рудным Обществом «Катока». Тяжёлая фракция песков представлена магнетит-ильменит-гематитовой ассоциацией, составляющей 80–95% массы фракции (рис. 5, *а*). Содержание гематита в подавляющем большинстве случаев превышает 30–40%. В разрезах отложений формации Калонда его концентрация всегда выше (до 95%), чем в образованиях толщи Калахари (не более 50%). Характерны высокие значения коэффициента устойчивости, по А.П.Сигову [3], что обусловлено резким преобладанием устойчивых к химическому выветриванию минералов, представленных ставролитом (первые %) над неустойчивыми.

Среди минералов лёгкой фракции преобладает кварц, содержание которого чаще всего превышает 80–90% (см. рис. 5, *б*). Среди неустойчивых в количестве первых процентов или редких знаков встречаются полевые шпаты и мусковит. Коэффициент мономинеральности, по В.П.Казаринову [1, 2], чаще всего составляет сотни, редко – первые десятки единиц.

На фоне общих особенностей минерального состава песчаной фракции терригенных коллекторов южного склона синеклизы Конго отмечаются и характерные, свойственные циклитам различного порядка.

Нижний пакет формации Калонда (С-1) отличается присутствием и высоким содержанием (до 41%) гидроксидов марганца, которые поступали за счёт размыва подстилающих выветрелых пород и образований коры выветривания. В вышележащих отложениях пакета С-2 и в группе Калахари они полностью отсутствуют. Среди минералов лёгкой фракции в отложениях пакета С-1 повышено, по сравнению с перекрывающими образованиями пакета С-2, количество ожелезнённого кварца (до 40%) и халцедона (до 18%). В породах нижнего циклита формации Калонда присутствует каолинит (до 30%).

Особенностью верхней части разреза отложений, слагающих пакет С-2, является увеличение доли ильменита до 30–35% и гидроксидов железа (до 50% и более) за счёт сокращения содержаний гематита до 10–40%. Наличие гидроксидов железа свидетельствует о процессах выветривания пород верхней части разреза формации Калонда после завершения её формирования, но до начала образования палеоген-неогеновой толщи.

В составе тяжёлой фракции отложений группы Калахари увеличивается количество гидроксидов железа, а в низах разреза повышается содержание ильменита (40–50%). Лёгкая фракция имеет существенно кварцевый состав. Содержание оже-

Рис. 5. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ТЯЖЁЛОЙ (*а*) И ЛЁГКОЙ (*б*) ФРАКЦИЙ ПЕСЧАНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ (0,1–0,05 мм) МЕЗОЗОЙСКИХ И КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ФОРМАЦИИ КАЛОНДА И ГРУППЫ КАЛАХАРИ В РАЗРЕЗЕ ПО СКВ. CATE87 (поле Катока):

усл. обозн. см. рис. 3

лезнённых зёрен кварца достигает в отдельных образцах 20–25%, что отличает отложения группы Калахари от отложений пакета С-2.

Ряд особенностей намечается в распределении глинистых минералов в разрезах мезозойских и кайнозойских терригенных коллекторов алмазов

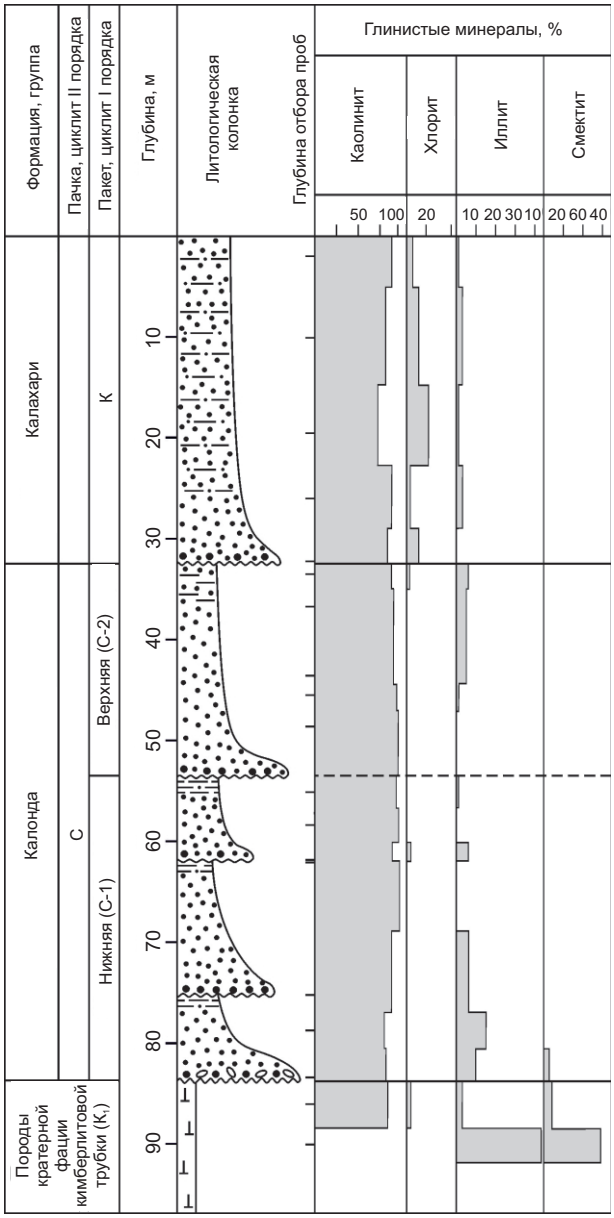

Рис. 6. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ГЛИН (<0,001 мм) МЕЗОЗОЙСКИХ И КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ФОРМАЦИИ КАЛОНДА И ГРУППЫ КАЛАХАРИ В РАЗРЕЗЕ ПО СКВ. CATE87 (поле Катока):

усл. обозн. см. рис. 3

(рис. 6). Отложения пакетов С-1 и С-2 формации Калонда отличаются повышенным (~90%) содержанием каолинита при подчинённой роли хлорита и гидрослюды. Кроме того, в разрезах отложений нижнего пакета наблюдается большое количество каолинитовых «окатышей». В образованиях пакета С-2 они, как правило, отсутствуют. Характерно присутствие хлорита в единичных пробах в количестве, не превышающем 5%. Повышенное содержание минералов группы монтмориллонита (смектита) в основании формации Калонда может служить признаком близости трубок, для которых характерно наличие сапонита (см. рис. 6). Глинистая фракция отложений группы Калахари выделяется максимальным содержанием хлорита (до 20–25%) и сокращением доли каолинита по сравнению с нижележащими образованиями.

Приведённые данные об особенностях минерального состава терригенных коллекторов формаций Калонда и Калахари позволяют заключить, что после внедрения кимберлитов в раннемеловое время территория южного склона синеклизы Конго подвергалась процессам химического выветривания. В условиях жаркого, переменно-влажного климата формировались каолинитовые коры выветривания. Поверхность кимберлитовмещающего цоколя представляла собой предельно выположенную денудационную равнину. Относительные превышения ранне-позднемелового рельефа составляли первые десятки метров. Ко времени завершения формирования циклита С-1 на большей части территории породы цоколя оказались в погребённом состоянии, а кимберлиты были выведены из области денудации. Анализ данных минерального состава терригенных коллекторов показывает, что источниками обломочного материала являлись породы, развитые в пределах ближнего геологического окружения. Россыпи алмазов, приуроченные к отложениям формации Калонда, удалены от коренных источников на относительно небольшие расстояния.

На основе изучения алмазоносных мезозойских и кайнозойских отложений Северо-Восточной Анголы можно сделать следующие выводы.

1. В разрезах выделены циклиты различных порядков, которые уверенно коррелируются на площади.

2. Установлены «продуктивные» литолого-стратиграфические уровни локализации континентальных ореолов рассеяния и россыпей алмазов, об-

разовавшихся в регрессивные фазы осадконакопления.

3. В разрезах отложений формации Калонда выявлены и прослежены маркирующие горизонты, которые можно использовать для палеогеоморфологических и палеогеографических реконструкций «продуктивных эпох».

4. Особенности составов лёгкой и тяжёлой фракций песков и составы глин – дополнительный инструмент корреляции толщ.

5. Наличие повышенных содержаний сапонита в отложениях формации Калонда служит признаком близости кимберлитового тела.

6. Полученные результаты целесообразно использовать при поисках погребённых россыпных и коренных месторождений алмазов на территории Северо-Восточной Анголы и сопредельных площадях.

Автор выражает искреннюю благодарность за помощь и поддержку в проведении исследований Государственному секретарю Анголы по Горному делу г-ну Мигелю Паулину, руководителю государственной компании Анголы ЭНДИАМА г-ну Карлосу Сумбуле, руководителю Департамента геологии г-же Ане Фейжо, а также за предоставленный доступ к разрезам по скважинам, обнажениям в карьерах, содействие в работе руководителям и специалистам Горно-Рудного Общества «Катока» (д-р Ганга, Сергей Амелин, Антонио Гальяну, Феликс Тунга, Франциишко Жоао, Владимир Первов, Сергей Сомов и др.), специалистам компании Кванго Эксплорейшн (Стюарт Селлс, Майк Вейр), геологам компаний Луминаш, Сомилуана, Калонда и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Выветривание* и литогенез / В.П.Казаринов, В.И.Гратов, Т.И.Гурова и др. – М.: Недра, 1969.
2. *Казаринов В.П.* Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири. – М.: Гостоптехиздат, 1958.
3. *Сигов А.П.* К вопросу применения промышленного прогноза по терригенным компонентам // Разведка и охрана недр. 1956. № 10. С. 14–22.
4. *Устинов В.Н.* Методы палеогеографических исследований при прогнозировании и поисках погребенных месторождений алмазов // Руды и металлы. 2008. № 5. С. 27–40.
5. *Устинов В.Н.* Терригенные коллекторы алмазов Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской платформ. – СПб.: Недра, 2015.
6. *Jelsma H., Barnett W., Richards S., Lister G.* Tectonic setting of kimberlites // Lithos. 2009. Vol. 112S. P. 155–165.
7. *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 geology. 2016. Vol. 426. P. 118–134.
8. *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 geology. 2012. Vol. 310–311. P. 137–147.

LITHOLOGICAL-STRATIGRAPHIC DISSECTION AND MINERAL COMPOSITION OF MESOZOIC AND CENOZOIC DIAMOND-BEARING ROCKS OF THE NORTH-EASTERN ANGOLA

V.N.Ustinov (TsNIGRI)

Based on detailed lithological and stratigraphic dissection of terrigenous diamond-bearing rocks of Kalonda Formation and Kalahari Group using facial-cyclic analysis technique, a complex of paleontological methods, data on mineral composition of sandy and clayey fractions 1st order cyclites traced throughout North Eastern Angola were identified in strata. Kalonda Formation section is represented by two cyclites (C-1 and C-2), one cyclcite (K) was found in Kalahari strata. Local and regional marker horizons (C-1a and C-2a!) are defined and can be used for paleogeographic reconstructions. Analysis of data on terrigenous rocks mineral composition shows that sources of clastic material were developed within nearby geological environment. This conclusion suggests that diamond placers in Kalonda Formation are relatively proximate to primary sources. The obtained results should be used in prospecting for buried diamond deposits in the Republic of Angola.

Keywords: terrigenous diamond-bearing rocks, strata, cyclite, mineral composition, Angola.