УДК 553.81(6)
© Коллектив авторов, 2017

Анализ перспектив алмазоносности Африканской провинции в связи с развитием минерально-сырьевой базы Российской Федерации за рубежом

В.Н.УСТИНОВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 199155, г. Санкт-Петербург, ул. Одоевского, д. 24, корп. 1),
Ю.К.ГОЛУБЕВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1),
А.К.ЗАГАЙНЫЙ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 199155, г. Санкт-Петербург, ул. Одоевского, д. 24, корп. 1),
И.М.КУКУЙ (НИГП АК «АЛРОСА»; 193036, г. Санкт-Петербург, Невский пр., д. 128, литера А),
И.И.МИКОЕВ, Л.П.ЛОБКОВА, С.А.АНТОНОВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 199155, г. Санкт-Петербург, ул. Одоевского, д. 24, корп. 1),
В.Д.КОНКИН (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Выполнен террейновый анализ территории Африканской платформы. Четыре крупные области архейской стабилизации – мегакратоны Западно-Африканский, Конго, Угандийско-Танзанийский, Калахари вместе с надвинутыми на них частями окружающих подвижных поясов выделены в качестве алмазоносных субпровинций (Западно-Африканской, Центрально-Африканской, Восточно-Африканской, Южно-Африканской). Проведена предварительная оценка их алмазоносного потенциала.
На основе структурно-тектонического анализа, изучения особенностей глубинного строения, комплексного анализа космических снимков, изучения вещественного состава кимберлитов и оценки продуктивности коренных источников, морфогенетических исследований ореолов рассеяния индикаторных минералов кимберлитов и россыпей алмазов на территории Африканской провинции выделены и охарактеризованы площади перспективные для обнаружения месторождений алмазов. В их пределах прогнозируются алмазоносные кимберлиты широкого возрастного диапазона и россыпи. Полученные данные необходимо учитывать при планировании деятельности российских компаний на зарубежных территориях.
Ключевые слова: перспективная площадь, провинция, алмазоносность, кимберлитовое тело, россыпь, месторождение, оценка потенциала.

Устинов Виктор Николаевич — alrosaspb@mail.ru, ustinov@tsnigri.ru
Голубев Юрий Конкордьевич — diamond@tsnigri.ru
Загайный Александр Константинович — zagainy@tsnigri.ru
Кукуй Ирина Михайловна — KukuyIM@alrosa.ru
Микоев Игорь Иванович — mikoev@tsnigri.ru
Лобкова Людмила Петровна — lobkova@tsnigri.ru
Антонов Сергей Александрович — s_a_antonov@rambler.ru
Конкин Виктор Дмитриевич — metallogeny@tsnigri.ru

Analysis of the African province diamond content prospects in relation to the Russian mineral base development abroad

V.N.USTINOV, Yu.K.GOLUBEV, A.K.ZAGAINY (Federal State Unitary Enterprise Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, FSUE TsNIGRI),
I.M.KUKUI (Geological Research and Prospecting Enterprise of PJSC ALROSA),
I.I.MIKOEV, L.P.LOBKOVA, S.A. ANTONOV, V.D.KONKIN (Federal State Unitary Enterprise Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, FSUE TsNIGRI)

Terrain analysis of the African platform was conducted. Four large areas of Archean stabilization – West African, Congo, Uganda-Tanzania, Kalahari with overthrusted parts of the surrounding mobile

belts – were identified as diamondiferous subprovinces (West African, Central African, East African, South African). Preliminary evaluation of their diamond potential was made.
Based on structural and tectonic analysis, study of deep structure features, complex analysis of satellite images, study of kimberlite composition and evaluation of primary sources productivity, morphogenetic studies of dispersion haloes of kimberlite indicator minerals and diamond placers, areas prospective for discovery of diamond deposits were outlined and characterized within the African province. Diamondiferous kimberlites varying in age and placers are predicted within the areas. The data obtained should be taken into consideration when planning activities of Russian companies abroad.
Key words: prospective area, province, diamond potential, kimberlite body, placer, deposit, evaluation of potential.

Актуальной проблемой алмазодобывающей промышленности Российской Федерации является сокращение сырьевой базы, связанное с истощением запасов разрабатываемых месторождений. При этом за последние 20 лет в пределах страны не выявлено ни одного крупного промышленного объекта. Аналогичные трудности испытывают практически все ведущие алмазодобывающие страны. В связи с этим постоянно возрастает конкуренция за новые перспективные площади в различных регионах мира.

Особое значение в этом отношении имеет Африканский континент – наиболее богатый алмазами и наименее изученный. В Африке в 2016 г. добыто почти 67 млн. карат алмазов, что по объему составляет 49,8% общемировой добычи (134,1 млн. карат), а по стоимости – почти 60%. При этом алмазоносный потенциал этой огромной территории далеко не исчерпан.

В последние годы авторами статьи были проведены специализированные комплексные исследования алмазоносности Африканской платформы. В результате, кроме площадей, для которых выполнена оценка алмазоносного потенциала, были выделены территории, рекомендуемые для дополнительного изучения в рамках региональных тематических исследований. В их пределах в той или иной степени проявлены предпосылки и признаки алмазоносности, но все они характеризуются крайне неравномерной изученностью.

Африканская (Африкано-Аравийская) древняя докембрийская платформа является наиболее крупной среди платформ гондванской группы и обладает всеми особенностями их строения. Она занимает большую часть Африканского континента, Аравийский полуостров и продолжается на острове Мадагаскар. С северо-запада ограничена палеозойскими складчатыми структурами Магриба (Атласская складчатая система), с северо-востока – альпийским Предзагросским (Месопотамским) краевым прогибом. На юге выделяется зона раннекиммерийских структур Капских гор. С запада, востока, северо-востока к платформе примыкают глубоководные впадины Южной Атлантики, Индийского океана и Средиземного моря.

Африканская платформа представляет собой сложный ансамбль, состоящий из устойчивых глыб эпиархейской континентальной коры – кратонов, спаянных и окруженных разновозрастными линейными складчатыми системами (поясами). И те и другие имеют сложное внутреннее строение и могут разделяться на блоки более высоких порядков.

Территория платформы в минерагеническом отношении представляет собой алмазоносную провинцию. Расположенные в ее пределах 4 крупных кратона (мегакратона) – Западно-Африканский, Конго, Угандийско-Танзанийский, Калахари с надвинутыми на них частями окружающих подвижных поясов выделены в качестве алмазоносных субпровинций (рис. 1): Западно-Африканской (ЗА), Центрально-Африканской (ЦА), Восточно-Африканской (ВА), Южно-Африканской (ЮА). В некоторых случаях в их состав включены обширные сопредельные площади с неясным строением фундамента, в пределах которых имеются проявления кимберлитового (лампроитового) магматизма, а также районы распространения россыпной алмазоносности.

В пределах каждой из субпровинций с целью выделения площадей, перспективных для выявления коренных месторождений алмазов и оценки их ресурсного потенциала, использовался комплекс геологических и геофизических методов, адаптированных к специфическим условиям изучаемой территории: 1) структурно-тектонический анализ; 2) изучение особенностей глубинного строения; 3) комплексный анализ космических снимков; 4) изучение вещественного состава кимберлитов и оценка продуктивности коренных источников; 5) морфогенетические исследования ореолов рассеяния индикаторных минералов кимберлитов (ИМК) и россыпей алмазов.

Структурно-тектонические исследования проводились по нескольким основным направлениям:

1. Изучение особенностей блокового строения исследуемой территории. Выделение блоков базировалось на следующих основных критериях: возраст стабилизации, геодинамическая обстановка образования, структурно-вещественные характеристики (состав, характер складчатости, метаморфизм и др.), характер гравитационного и магнитного полей.

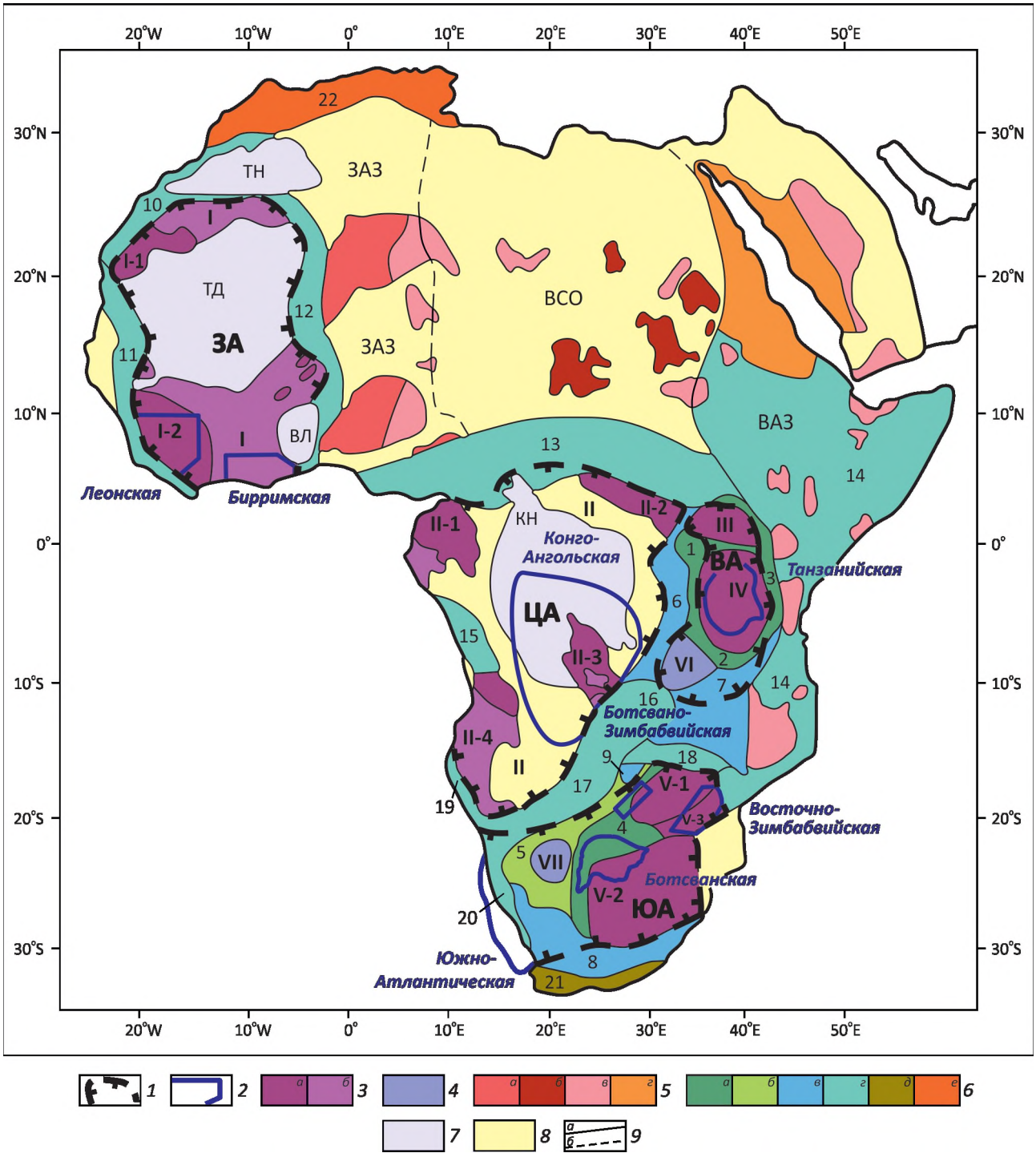
2. Палеотектонический анализ эволюции земной коры. Выделены крупные временные подразделения (мегациклы, циклы), а также региональные уровни стратиграфических несогласий. Уточнен возраст эпох

тектономагматической активизации и связанных с ними проявлений кимберлитового и родственного магматизма.

3. Анализ структурно-тектонической позиции известных в регионе проявлений алмазоносного кимберлитового магматизма.

4. Анализ современных методических разработок по структурно-тектоническим критериям (факторам) алмазоносности и их адаптация к конкретной геологической обстановке изучаемой территории.

Изучение особенностей глубинного строения и геофизических характеристик земной коры выполнялось с целью выявления параметров, имеющих прогнозное значение: 1) значительная мощность литосферы; 2) низкий тепловой поток; 3) депрессии в рельефе поверхности Мохоровичича; 4) зоны повышенных скоростей распространения сейсмических волн в земной коре; 5) региональные разуплотнения консолидированной земной коры.



При анализе материалов использовались в основном опубликованные результаты региональных исследований, а также имеющиеся в сети Интернет цифровые базы геофизических данных российских и зарубежных научных центров. Одним из основных источников информации регионального характера являлись спутниковая альтиметрия и сейсмическая томография. Данные по магнитной и гравитационной съемкам использовались как непосредственно в виде наблюденных полей, так и их трансформант и результатов проведенной авторами количественной интерпретации.

Одним из методов обработки геофизических данных является линеаментный анализ магнитного поля, представляющий собой комплекс методов для выделения и систематизации линейных элементов при изучении карт различных геолого-геофизических параметров. В данном случае использовались сводные карты, составленные по результатам аэромагнитной съемки. Линеаментный анализ проводился с помощью модуля GETGridAnalysis. Данный модуль позволяет выделить все линейные элементы и содержит инструменты для их векторизации и анализа структуры поля. На завершающем этапе проводилась геологическая интерпретация выявленных объектов.

Вся информация обобщалась и сводилась в банки данных, которые затем использовались для составления карт и схем глубинного строения. Наиболее показательные характеристики литосферы Африканской платформы приведены на рис. 2.

Выделение территорий, перспективных для выявления кимберлитовых тел, выполнялось по полноте проявления глубинных (геофизических) факторов. Для составления карт использовался программный пакет Surfer, Oasis Montaj, Coscad 3D b GravMag 3D.

Комплексный анализ космических снимков являлся важной составной частью исследований Африканской провинции. Использовались как материалы радарной топографической съемки SRTM (ShuttleRadarTopographicMission), так и мульти- и гипермультиспектральные космоснимки разных разрешений со спутника Landsat-7. Обработка материалов производилась с использованием программ ArcGisDesktop, ERDASEngine, SARscape и LESSA.

Изучение вещественного состава кимберлитов и оценка продуктивности коренных источников проводились на некоторых площадях, где известны недостаточно изученные кимберлитовые тела и ореолы рассеяния ИМК.

При исследовании коренного источника или его реконструкции по ИМК из терригенных коллекторов проводилась интерпретация химических составов кимберлитовых минералов по данным рентгеноспектрального микрозондового анализа с использованием различных диагностических диаграмм, позволяющих определять их принадлежность к определенному парагенезису [1, 2, 9, 11–13, 16–18, 20].

Важным критерием алмазоносности кимберлитов являются *P-T*-условия образования их мантийных расплавов, которые могут быть восстановлены на основе оценки физико-химических параметров (температуры, давления и степени окисленности – восстановленности) кристаллизации высокобарических минералов (пиропа, пироксена, оливина и хромшпинелида). Оценка *P-T* параметров образования перидотитовых и эклогитовых парагенезисов, а также отдельных ксенокристаллов ИМК может выполняться различными методами, которые обобщены в авторской программе С.К.Симакова PTQuick. В результате проведенных исследований дана оценка потенциала алмазоносности установленных (недоизученных) и прогнозируемых коренных источников.

Рис. 1. Алмазоносные субпровинции Африканской платформы. *С использованием в качестве основы схемы основных структур Африкано-Аравийской платформы* [26]**:**

1 – алмазоносные субпровинции (ЗА – Западно-Африканская, ЦА – Центрально-Африканская, ВА – Восточно-Африканская, ЮА – Южно-Африканская); *2* – площади, перспективные для выявления месторождений алмазов, их названия; *3* – кратоны (*а* – области развития архейской коры, *б* – архейская кора, частично переработанная в палеопротерозое в процессе эбурнейской орогении): I – Западно-Африканский (I-1 – Регибатский щит, I-2 – Леоно-Либерийский щит), II – Конго (II-1 – Габон-Камерунский щит, II-2 – Бому-Кибалийский щит, II-3 – щит Касаи, II-4 – Ангольский щит), III – Угандийский, IV – Танзанийский, V – Калахари (V-1 – кратон Зимбабве, V-2 – Каапваальский кратон, V-3 – микроконтинент, подвижный пояс Лимпопо); *4* – предполагаемые микроконтиненты: VI – Бангвелулу, VII — Малтахох; *5* – подвижные области: *а* – области архейской и палеопротерозойской коры, переработанной в период эбурнейской и ранненеопротерозойской орогении, *б* – архейская и протерозойская кора, переработанная в период панафриканской орогении, *в* – протерозойская кора, переработанная в период панафриканской орогении, *г* – неопротерозойская кора (ЗАЗ – Западно-Африканская подвижная зона, ВСО – Восточно-Сахарская подвижная область, ВАЗ – Восточно-Африканская орогенная зона); *6* – подвижные (складчатые) пояса: *а* – палеопротерозойские (1 – Рувензори, 2 – Убендийский, 3 – Усагарский, 4 – Хейс-Оква-Магонди), *б* – палео-мезопротерозойские (5 – Рехобот-Ботсвана), *в* – мезопротерозойские (6 – Кибаранский, 7 – Ирумидский, 8 – Намаква-Наталь, 9 – Чомо-Коломо), *г* – неопротерозойские (10 – Анти-Атлас, 11 – Рокелидско-Мавританский, 12 – Транссахарский, 13 – Центрально-Африканский, 14 – Мозамбикский, 15 – Западно-Конголезский, 16 – Луфилианская дуга, 17 – Дамара, 18 – Замбези, 19 – Каоко, 20 – Гариеп), *д* – неопротерозойско-палеозойские (21 – Салдания), *е* – палеозойские (22 – Средиземноморский); *7* – неопротерозойские бассейны (ТН – Тиндуф, ТД – Таудени, ВЛ – Вольта, КН – Конго); *8* – отложения фанерозойского платформенного чехла; *9* – границы структур: *а* – достоверные, *б* – предполагаемые

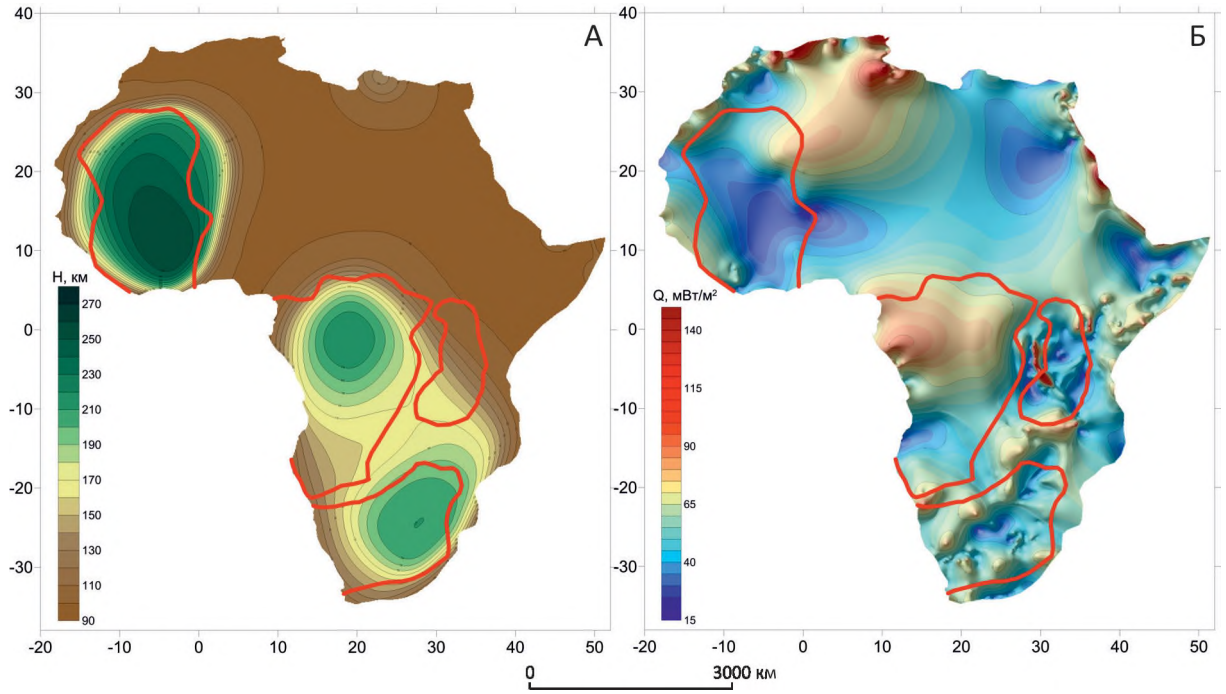


Рис. 2. Мощность литосферы (А) и тепловой поток (Б) Африканской платформы. *По данным S.Fishwick,* [10], *K.Priestley et al* [23], *GlobalHeatFlowDataBase и др. с дополнениями*

Морфогенетические исследования ореолов рассеяния ИМК и россыпей алмазов позволяют восстановить условия размыва коренных или россыпных источников кимберлитовых минералов и аккумуляции продуктов их разрушения в терригенных коллекторах, что дает возможность оценить дальность, направление переноса ИМК и длительность процесса пересортировки зерен [4].

Для комплексной оценки ореолов рассеяния индикаторных минералов кимберлитов использовались следующие критерии: положение в рельефе или палеорельефе, фациальный состав и динамический тип вмещающих отложений, литологический состав, размер ореола, мощность, морфология в плане, содержание зерен ИМК, их минеральный состав, степень отсортированности и содержание слабоизношенных зерен.

Кроме перечисленных основных видов исследований, выполнено районирование алмазоносных субпровинций Африки по условиям ведения поисковых работ, составлены схемы размещения и кадастр кимберлитовых тел и россыпей алмазов, собраны материалы по лицензионным площадям, что позволило оценить степень их опоискованности.

На основе результатов изучения алмазоносности Африканской провинции выделено 8 площадей, рекомендуемых для изучения в рамках региональных тематических исследований (см. рис. 1): 2 площади в пределах ЗА (Леонская и Бирримская); 1 – в ЦА (Конго-Ангольская); 1 – в ВА (Танзанийская) и 4 – в ЮА (Ботсвано-Зимбабвийская, Восточно-Зимбабвийская, Ботсванская и Южно-Атлантическая). Они характеризуются сложным геологическим строением и разнообразием ландшафтно-геологических поисковых обстановок (ЛГПО). В пределах каждой площади широко проявлены предпосылки и признаки алмазоносности, в частности, имеются алмазоносные кимберлиты и промышленные россыпи алмазов (рис. 3). Все они отличаются крайне неравномерной изученностью, но в пределах некоторых из них после выполненного анализа могут быть выделены перспективные площади для ведения поисковых работ.

Леонская площадь охватывает территорию Сьерра-Леоне, Гвинеи и Либерии и приурочена к западной и центральной частям архейского кратона (архона) Кенема-Ман. Его краевые северо-восточная и восточная части подверглись интенсивной тектоно-термальной переработке в палеопротерозое в позднюю фазу эбурнейского орогенеза, сопровождавшуюся внедрением интрузий гранитов и метаморфизмом. Практически вся площадь, за исключением западной и северной частей, представляет собой выход пород кристаллического фундамента на дневную поверхность.

В ее центральной части расположены кимберлитовые поля юрско-раннемелового возраста Коиду, Тонго, Бафи, Мано, Бунуду, Мандала, Макона, Фенария, Бананкоро, в пределах которых имеются месторождения алмазов.

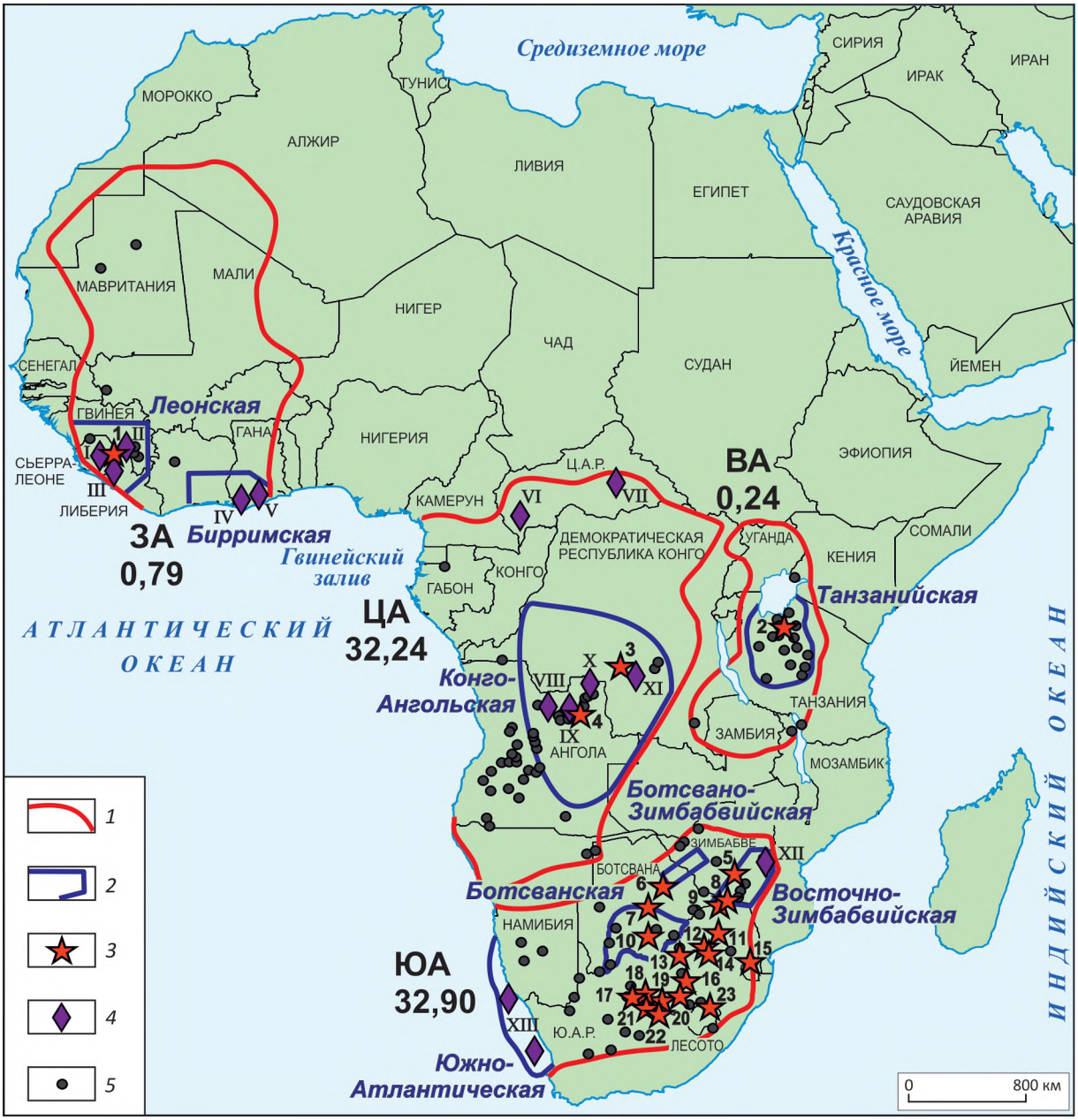


Рис. 3. Перспективные площади Африканской провинции:

1 – контуры алмазоносных субпровинций (ЗА – Западно-Африканская, ЦА – Центрально-Африканская, ВА – Восточно-Африканская, ЮА – Южно-Африканская); *2* – площади, перспективные для выявления месторождений алмазов, их названия; *3* – основные коренные месторождения алмазов (трубки): 1 – №1, №2 (поле Коиду), 2 – Мвадуи (поле Шиньянга), 3 – М1, М3 (поле Мбужи-Майи), 4 – Катока, Луеле (поле Катока), 5 – К-1, К-2, К-3 (поле Мурова), 6 – Орапа, Карове, Летлхакане, Дамтшаа, ВК-11 (поле Орапа), 7 – Гагу (поле Гопе), 8 – Ривер Ранч (поле Ривер Ранч), 9 – Венишия (поле Венишия), 10 – Джваненг (поле Джваненг), 11 – Клипспрингер, Марсфонтейн (поле Ягерсфонтейн), 12 – Палмейтгат (поле Претория), 13 – Гелам (поле Рунстербург), 14 – Премьер (поле Претория), 15 – Доколвайо (поле Свазиленд), 16 – Лейс, Вурспойд (поле Кронстад), 17 – Финш (поле Постмасбург), 18 – Совер, Мессина, Дарнкарл Майн Сут (поле Кимберли), 19 – Робертс-Виктор (поле Робертс–Виктор), 20 – Стар (поле Винбург), 21 – Бултфонтейн, Весселтон (поле Кимберли), 22 – Коффифонтейн (поле Ягерсфонтейн), 23 – Лихобонг, Летсенг, Мотае, Лимфани, Као (поле Лесото); *4* – основные россыпные месторождения: I – Койду, II – Бананкоро, III – Тонго, IV – Тарква, V – Акватия, VI – Карно-Берберати, VII – Мука-Уада, VIII – Кванго, IX – Луло, X – Шитотоло, XI – Бакванга, XII – Маранге, XIII – подводные россыпи юго-западной Африки; *5* – крупнейшие поля непромышленных или неалмазоносных кимберлитов; дробные числа – добыча алмазов в субпровинциях в 2016 г., млн. карат

Они контролируются одновозрастными зонами ТМА, являющимися, вероятно, континентальными продолжениями атлантической системы трансформных разломов.

В Либерии известно также кимберлитовое поле неопротерозойского возраста Весуа.

Определенными перспективами алмазоносности может обладать также часть кратона, перекрытая на юго-западе породами панафриканского Рокелидского пояса (покров Касила). Здесь в прибрежной части Сьерра-Леоне в 2014 г. была открыта алмазоносная кимберлитовая дайка Лейк Попей (Lake Popei).

Кроме того, на территории известны крупные россыпные районы и поля – Лесная Гвинея, Коиду-Тонго, Лофа, Жунку, Сент-Джон.

Таким образом, несмотря на значительную опоискованность Леонской площади, в ее пределах могут быть выявлены алмазоносные кимберлиты как протерозойского, так и мезозойского возраста; при этом наибольшими перспективами обладают последние. Не исключена вероятность обнаружения и промышленных россыпных объектов.

Бирримская площадь расположена на территории Кот-д'Ивуара и Ганы в юго-восточной части террейна Бауле-Мосси, являющегося областью палеопротерозойской стабилизации – протоном.

Территория сложена палеопротерозойскими вулканогенно-осадочными породами супергруппы Биррим (Birimian) и одновозрастными ТТГ-гнейсами. Выше с резким несогласием залегают также палеопротерозойские метаосадочные отложения группы Тарква (Tarkwaian). Все эти породы подверглись тектоно-термальной переработке во время эбурнейского орогенеза, сопровождавшегося внедрением многочисленных гранитоидных интрузий, а также метаморфизму преимущественно зеленосланцевой фации.

Имеются предположения, что под палеопротерозойскими породами террейна Бауле-Мосси присутствует архейский фундамент. Особенно это касается территории юго-восточной Ганы–Ганского блока, где по комплексу геолого-геофизических, геохимических и геохронологических данных предполагается наличие фрагмента древней континентальной коры архейского кратона Сан Луис (São Luis).

Коренные алмазоносные кимберлитовые тела в настоящее время на площади не известны. Однако в юго-восточной Гане на площади Акватия (в районе одноименного россыпного месторождения) алмазы выявлены в телах основного–ультраосновного состава, а также в вулканокластических брекчиях, по составу близких к коматиитам [7, 24]. Они могут являться одним из вероятных коренных источников аллювиальных алмазов на площади.

В контурах Бирримской площади локализованы известные разрабатываемые россыпи алмазов Акватия и Тарква. Акватия обеспечивает основной объем добычи аллювиальных алмазов в Гане.

Кроме того, развитые на площади грубообломочные вулканогенно-осадочные отложения супергруппы Биррим и группы Тарква являются промежуточными коллекторами алмазов, но могут иметь и самостоятельное промышленное значение. Их коренные источники до сих пор не установлены, при этом они могут быть как кимберлитового, так и иного состава.

Танзанийская площадь приурочена к Северному террейну архейского Танзанийского кратона [26]. Она является классической гранит-зеленокаменной областью архейской стабилизации (архоном) и сложена различными гранитоидами, гнейсами, мигматитами; имеются фрагменты зеленокаменных поясов. Все указанные образования имеют неоархейский возраст. Платформенные осадки развиты в основном в западной части территории, на востоке – фрагментарно. Данные о мощности чехла отсутствуют.

В ее пределах широко проявился разновозрастный кимберлитовый магматизм, связанный с четырьмя эпохами тектономагматической активизации (ТМА): мезопротерозойской, меловой, палеогеновой и неоген-четвертичной. Имеется также большое количество кимберлитовых тел, возраст которых не известен. Алмазы установлены только в телах палеогенового возраста. Кимберлитовые трубки имеют различные уровни эрозионного среза, у многих сохранились кратерные фации (например, Мвадуи).

На площади предполагается наличие двух субмеридиональных кимберлитоконтролирующих зон, разделенных глубинным разломом. Западная, вероятно, является более древней. В ее пределах размещается 9–10 кимберлитовых полей мезопротерозойского, мелового и палеогенового возрастов, и к ней же приурочены все известные алмазоносные кимберлиты района. Алмазоносность трубок в основном низкая; имеется несколько средних и мелких по запасам месторождений. С ними связаны несколько мелких россыпей алмазов.

В пределах Восточной зоны установлены семь неалмазоносных кимберлитовых полей. При этом только для одного определен абсолютный возраст (палеоген).

В западной части рассматриваемой территории расположены три сближенных вулкана Игвизи Хиллс (Igwisi Hills) неоген-четвертичного возраста, лава которых имеет кимберлитовый состав; алмазы в ней не установлены.

Единственным разрабатываемым коренным месторождением алмазов страны является кимберлитовая трубка Мвадуи (рудник Вильямсон), которая принадлежит компании Петра Даймондс. Среднее содержание камней невысокое – 0,03 кар./т, стоимость составляет 298 долл./карат [19].

В пределах выделенной площади присутствуют многочисленные ореолы рассеяния индикаторных минералов кимберлитов, которыми сопровождается большинство кимберлитовых трубок.

Перспективы Танзанийской площади связаны в основном с обнаружением разновозрастных коренных месторождений алмазов, однако не исключается также и возможность выявления промышленных россыпных объектов. Отметим, что западная часть территории Танзании опоискована слабо.

Конго-Ангольская площадь представляет собой огромный регион, охватывающий юго-восток Демократической Республики Конго (ДРК) и северо-восток Республики Ангола. Она занимает большую часть наиболее алмазопродуктивного сегмента мегакратона Конго (ЦА) – кратона Касаи и незначительную северо-восточную часть Ангольского кратона.

Рассматриваемая территория является областью архейской стабилизации – архоном. Она не подверглась значительной поздней тектоно-термальной переработке, при этом в ее пределах встречаются отдельные редкие массивы палеопротерозойских гранитоидов. Центральную и восточную часть площади занимает щит Касаи, где на дневную поверхность выходят архейские образования кристаллического фундамента.

С севера и северо-востока кратон Касаи ограничен авлакогеном северо-западного простирания, выполненным слабо- или неметаморфизованными вулканогенно-карбонатно-терригенными отложениями мезо-неопротерозоя.

На большей части площади развиты осадки палеозойско-кайнозойского платформенного чехла синеклизы Конго.

Характерная особенность данной территории – ее крайне неравномерная изученность как в общегеологическом аспекте, так и в отношении алмазоносности. Наряду с относительно хорошо изученными и опоискованными районами с выявленными кимберлитовыми полями, коренными и россыпными месторождениями алмазов имеются обширные совершенно неисследованные площади.

В северо-восточной части площади на территории ДРК в районе города М`Бужи-Майи размещается одноименное кимберлитовое поле (другое название – Бакванга). Тела приурочены к борту неразвившегося рифта – авлакогена: часть из них размещается среди выполняющих его мезо-неопротерозойских отложений, а часть – среди архейских образований. Кимберлиты имеют возраст около 70 млн. лет (поздний мел, маастрихт) [5]. Содержание алмазов в трубках – от 0,2 до 2,5 кар./т, но алмазы ювелирного качества составляют только 3–4%. Здесь же локализованы уникальные россыпи алмазов в карстовых полостях, образовавшиеся за счет размыва позднемеловых кимберлитовых трубок. Полости глубиной до 120 м выработаны в известняках неопротерозоя и имеют площадь от 0,4 до 16,5 га. Россыпи перекрыты относительно маломощными осадками группы Калахари. Содержание алмазов в них около 8–9 кар./м^3 (на локальных участках – до 100 кар./м^3 и более); запасы исчисляются сотнями миллионов карат. Как трубки, так и россыпи в значительной степени отработаны.

Примерно в 100 км восточнее поля М`Бужи-Майи размещаются еще два кимберлитовых поля: Касенду (Kasendou) – 8 трубок и Ликаши (Likashi) – 2 трубки. Вмещающими породами служат неопротерозойские отложения грабена авлакогена, перекрывающими – мезозойские терригенные осадки. В некоторых телах были установлены микро- и макроалмазы. Данные о возрасте кимберлитов отсутствуют.

Указанные кимберлитовые поля размещаются на продолжении трансконтинентальной кимберлитоконтролирующей структуры (зоны ТМА) Лукапа северо-восточного простирания. Однако, судя по расположению, они могут контролироваться и зоной ТМА субширотного направления, но данный вопрос требует дополнительного изучения.

Западнее кимберлитового поля М`Бужи-Майи в водотоках бассейна р. Касаи расположены многочисленные аллювиальные россыпи алмазов.

На территории ДРК можно ожидать выявления как крупных коренных месторождений алмазов преимущественно позднемелового возраста, так и промышленных россыпей, связанных с грубообломочными горизонтами в верхнемеловых отложениях, карстовыми полостями и четвертичным аллювием.

Северо-восточная часть Анголы охватывает юго-запад кратона Касаи и северо-восток Ангольского кратона. Здесь наиболее широко и полно проявлен комплекс предпосылок и признаков алмазоносности, в частности, сосредоточена основная часть выявленных в стране в настоящее время алмазоносных кимберлитов, в том числе все коренные и большинство россыпных месторождений алмазов.

Практически все кимберлитовые тела приурочены к трансконтинентальной кимберлитоконтролирующей структуре северо-восточного простирания – зоне ТМА (коридору, линеаменту, тренду) Лукапа (рис. 4). Считается, что она представляет собой континентальное продолжение трансформного разлома атлантической рифтовой системы (вулканического подводного хребта Китовый). На основании характера расположения кимберлитовых тел вне коридора Лукапа предполагается наличие еще двух субпараллельных сателлитных зон ТМА меньшего масштаба.

Исследования последних лет показали, что возраст кимберлитов на северо-востоке Анголы составляет 133–112 млн. лет [14, 21, 22, 27, 28].

В пределах площади, рекомендуемой для исследований, установлено более 700 кимберлитовых тел, объединенных в 12 полей. Кимберлиты представлены в основном трубками взрыва, их размеры варьируют в широких пределах: от 0,1 до 160 га. Верхние части многих, особенно крупных трубок, сложены вулканогенно-осадочными породами кратерной фации с различной долей кимберлитового материала. Мощность

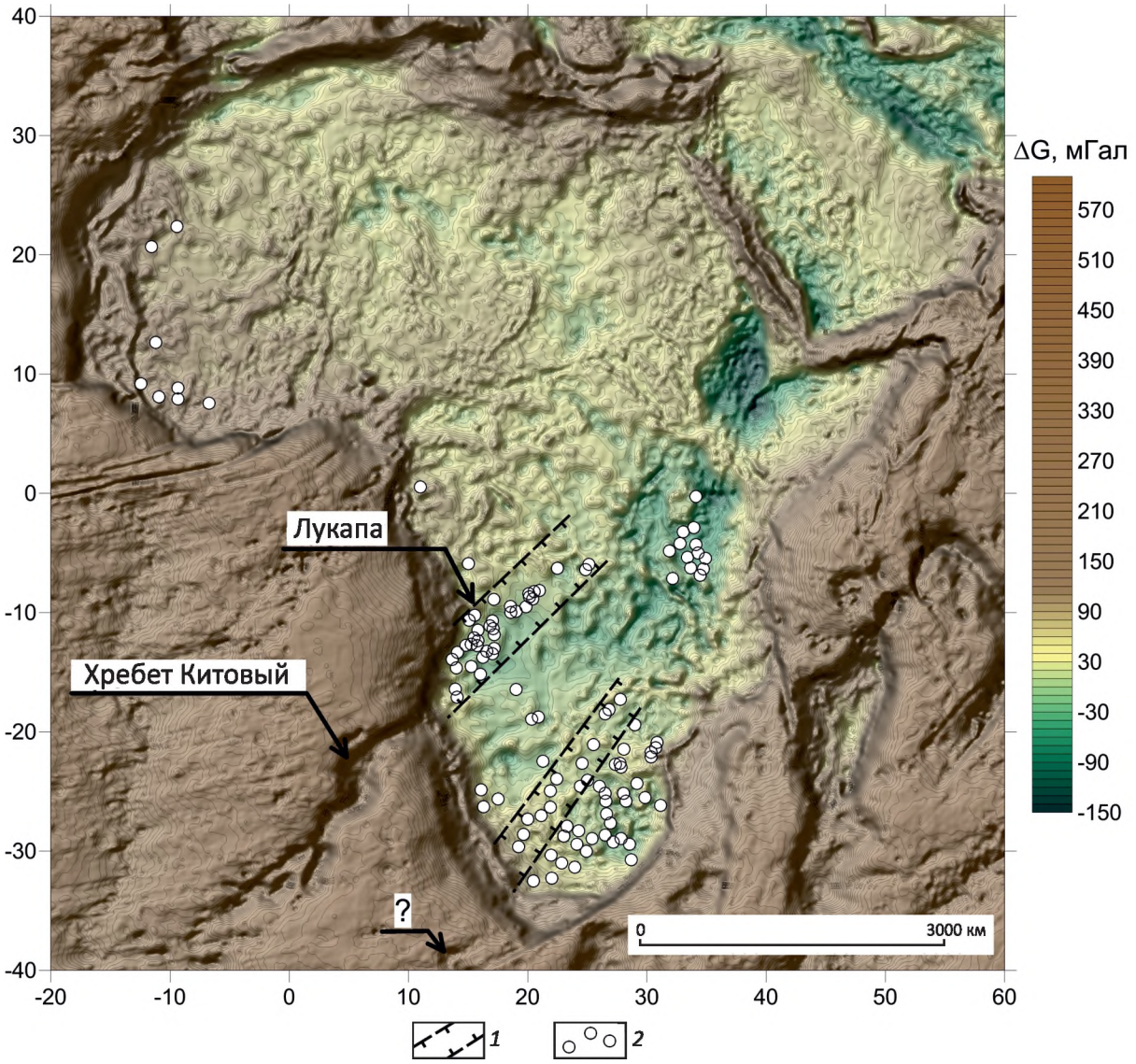


Рис. 4. Основные кимберлитоконтролирующие зоны Африки в поле силы тяжести. *По данным Bureau Gravimétrique International с дополнениями*:

1 – основные кимберлитоконтролирующие зоны (зоны ТМА, коридоры, тренды) мелового возраста; *2* – кимберлитовые поля

кратерных образований в отдельных случаях достигает 260 м.

Здесь же расположены все 14 кимберлитовых трубок Анголы, считающиеся потенциальными месторождениями алмазов, содержания которых составляют 0,5–1,0 и более кар./т. В настоящее время разрабатывается только одна трубка — Катока (более 7,0 млн. кар./год при стоимости 75–100 долл./кар.).

В пределах рассматриваемой территории установлены многочисленные россыпные месторождения алмазов. Они связаны как с формацией Калонда, так и с современными аллювиальными отложениями. Следует отметить, что для значительной части выявленных россыпей алмазов коренные источники не установлены.

Несмотря на значительное количество выявленных кимберлитовых тел, потенциально промышленных и промышленных коренных и россыпных объектов, алмазоносный потенциал северо-востока Анголы далеко не исчерпан. До настоящего времени поисковые работы в основном были сосредоточены на открытых площадях или участках с незначительной мощностью перекрывающих рыхлых осадков (щит Касаи, его склоны, глубоко врезанные речные долины). Обширные водораздельные пространства, сложенные с

поверхности терригенными отложениями группы Калахари, остаются практически неисследованными. Кроме наличия широкого комплекса предпосылок и признаков алмазоносности, высокая вероятность обнаружения алмазоносных кимберлитов на северо-востоке Анголы подтверждается также следующими данными:

приуроченностью россыпей алмазов к русловым аллювиальным фациям ближнего и умеренного переноса в отложениях верхнемеловой формации Калонда;

наличием в терригенных коллекторах слабо изношенных пиропов и пикроильменитов.

Таким образом, в южной половине Конго-Анольской площади, на северо-востоке Анголы можно уверенно прогнозировать обнаружение крупных коренных месторождений алмазов преимущественно раннемелового возраста и промышленных россыпей, связанных с базальным горизонтом верхнемеловой формации Калонда и четвертичными аллювиальными отложениями.

Ботсвано-Зимбабвийская площадь расположена в приграничной области данных стран к северо-востоку от кимберлитового поля Орапа. Ее перспективность обусловлена сходством геологической позиции с указанным месторождением. Она приурочена к краевой части архейского кратона Зимбабве (архона) в области его сочленения с палеопротерозойским подвижным поясом Магонди (протоном). Предполагается, что второй надвинут на первый; ширина зоны надвигания неизвестна, но может достигать десятков километров.

Большая часть рассматриваемой территории перекрыта палеозойско-кайнозойским платформенным чехлом синеклизы Калахари (супергруппа Карру и группа Калахари). При этом она размещается в области структурного сочленения синеклизы со щитом (антеклизой) Каапвааль-Зимбабве, что определяет относительно небольшую мощность перекрывающих отложений.

Площадь приурочена к зоне пересечения двух разновозрастных линейных зон ТМА. Первая представляет собой крупнейшую трансконтинентальную структуру (тренд, линеамент, коридор) северо-восточного простирания (см. рис. 4). Так же как и в Анголе, она является континентальным продолжением трансформного разлома атлантической рифтовой системы, протягивающейся от Атлантического побережья и контролирующей расположение полей кимберлитов, щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов в основном позднемелового возраста.

Вторая представлена протяженным роем даек долеритов Окаванго запад-северо-западного простирания, который трассируется из ЮАР, через Ботсвану в Намибию. Большинство тел долеритов имеет раннеюрский возраст (178–180 млн. лет), но получены и протерозойские датировки (1700–850 млн. лет) [15]. Возможно, данная структура является древней, долгоживущей. С ней на территории указанных стран пространственно связаны поля кимберлитов различного возраста (кембрий, поздний мел); при этом большинство из них размещается в ее периферической части.

Рассматриваемая территория отличается низкой степенью геологической изученности, особенно в отношении алмазоносности. Ее перспективы связаны, прежде всего, с обнаружением кимберлитовых трубок позднемелового возраста; однако нельзя исключать и возможность выявления кембрийских промышленных объектов. Непосредственно юго-западнее площади расположено позднемеловое кимберлитовое поле Орапа, в пределах которого размещается 5 месторождений алмазов. На территории кратона Зимбабве достаточно широко распространены кимберлитовые трубки кембрийского возраста, две из которых являются месторождениями (Мурова и Ривер-Ранч). Ближайшее кимберлитовое поле этой эпохи (Бамбези) расположено в Зимбабве приблизительно в 50 км юго-восточнее границы рекомендуемой площади. В пределах указанного поля имеются трубки, в незначительных количествах содержащие алмазы.

Кроме того, интерес в качестве промежуточного коллектора алмазов и даже самостоятельного россыпного объекта могут представлять горизонты грубообломочных отложений в разрезе широко развитой в пределах рассматриваемой территории супергруппы Карру. Основанием для данного предположения является наличие в аналогичных осадках россыпного месторождения Сомабула, расположенного в Зимбабве восточнее выделенной площади в районе г. Гверу.

Восточно-Зимбабвийская площадь охватывает восточную (зимбабвийскую) относительно плохо изученную часть подвижного пояса (микроконтинента) Лимпопо и прилегающую территорию кратона Зимбабве. Оба этих крупных террейна стабилизировались в архее, то есть являются архонами.

Подвижный пояс (микроконтинент) Лимпопо, разделяющий архейские кратоны Каапвааль и Зимбабве, возможно, является древним микроконтинентом, но вместе с тем по стилю деформаций соответствует подвижному поясу [25]. Он представлен Северной краевой (СКЗ) и Центральной (ЦЗ) зонами.

СКЗ представляет собой переработанную в конце архея и метаморфизованную до гранулитовой фации окраину кратона Зимбабве, при этом считается, что она надвинута на незатронутую деформациями часть кратона.

ЦЗ имеет, возможно, древнейший фундамент в Африке. В ее строении принимают участие архейские образования с возрастом (у разных авторов) от 3,8 (3,9) до 2,5 млн. лет [6, 25]. Она отделена от СКЗ крупным сдвигом (зоной пластических деформаций) Трайангл (Triangle или Tuli-Sabi shear zone) шириной до 35 км.

Рассматриваемая восточная часть подвижного пояса, в отличие от западной, практически не затронута палеопротерозойской тектоно-термальной переработкой, связанной с эбурнейской орогенической эпохой.

Значительная часть пояса Лимпопо перекрыта образованиями супергруппы Карру (верхний карбон–юра) мощностью до первых сотен метров. В восточной части расположены выходы существенно терригенных осадков Мозамбикской впадины мощностью до 1350 м, возраст которых, вероятно, мел или поздняя юра–мел.

В пределах пояса имеются фрагменты двух зон ТМА, представленных крупными роями раннеюрских даек долеритов комплекса пост-Карру: Окаванго (Okavango) запад-северо-западного и Саби-Лимпопо (Sabi-Limpopo) юго-западного направления, сочленяющихся в районе Нуанетси (Nuanetsi) в центре территории.

В пределах пояса Лимпопо установлены кимберлитовые поля двух эпох тектономагматической активизации – мезопротерозойской и кембрийской. Месторождения алмазов выявлены только в пределах ЦЗ: мезопротерозойское Лерала (Ботсвана) и кембрийские Оукс, Венеция (ЮАР), Ривер-Ранч (Зимбабве). Также имеются небольшие промышленные россыпи алмазов (ЮАР).

Несмотря на относительно неплохую изученность, данная территория сохраняет свой алмазоносный потенциал. Здесь имеются перспективы обнаружения коренных месторождений алмазов мезопротерозойского и кембрийского возрастов. В первую очередь это относится к ЦЗ вне районов развития мощных палеозойско-мезозойских отложений.

Северная часть рекомендуемой площади представляет собой окраину архейского кратона Зимбабве. В ее пределах размещается мезопротерозойский осадочный бассейн Гайрези (Gairezi basin), выполненный отложениями группы Умкондо (Umkondo). Базальные и внутриформационные конгломераты группы содержат алмазы в промышленных количествах.

В северной части площади расположено крупнейшее россыпное месторождение алмазов Маранге, где добыча производится как из мезопротерозойских базальных конгломератов группы Умкондо, так и из четвертичных отложений (рис. 5). В районе границы с Мозамбиком имеется недоизученное месторождение алмазов Чиманимани, приуроченное к внутриформационным конгломератам той же группы. В 2013 г. суммарная добыча алмазов в районе достигала 12 млн. карат. У западной границы площади находится россыпное месторождение Бикита.

Коренные источники россыпей алмазов района в настоящее время не установлены, хотя в его северной части выявлено кимберлитовое поле Северное Маранге, состоящее из 4 трубок, возраст которых не установлен, а данные об алмазоносности отсутствуют.

Таким образом, выделенная для изучения территория перспективна как для выявления россыпных, так и коренных месторождений алмазов широкого возрастного диапазона.

Ботсванская площадь целиком расположена в пределах архейского Каапваальского кратона (архона) на территории Республики Ботсвана, с юга и юго-востока она ограничена территорией ЮАР. На западе в нее включена зона надвигания палеопротерозойского подвижного пояса Хейс (Kheis).

Площадь отличается высокой продуктивностью: в ее пределах имеется несколько алмазоносных кимберлитовых полей, в том числе крупные месторождения алмазов. Важной особенностью является проявленность на площади трех эпох алмазоносного кимберлитового магматизма ($T_{2–3}$, $J_{1–2}$ и K_2).

Со средне-позднетриасовым этапом связано кимберлитовое поле Джваненг (алмазоносное), в пределах которого расположено одноименное крупнейшее в мире месторождение алмазов. Алмазоносные кимберлиты поля Дитшегване имеют ранне-среднеюрский возраст.

Основной эпохой внедрения кимберлитов на площади является позднемеловая. Все тела приурочены к вышеописанной протяженной зоне ТМА северо-восточного простирания. В ее пределах выявлены следующие кимберлитовые поля: Мабуашубе, Кикау-Кхутсе (неалмазоносные или данные отсутствуют); Сабонг, Коконг, Гопе (алмазоносные), на площади последнего выявлено месторождение Гагу.

Кроме того, на территории имеется кимберлитовое поле неизвестного возраста – Гатленд (данные по алмазоносности отсутствуют), Зуве (алмазоносное), в пределах последнего установлено месторождение алмазов КХ-36.

Несмотря на наличие значительного количества опоискованных участков, потенциал алмазоносности рассматриваемой площади остается достаточно высоким. Это подтверждается открытием здесь относительно недавно двух месторождений алмазов КХ-36 и Гагу (Ghagoo). Кроме того, здесь имеются перспективные ореолы рассеяния ИМК, а также участки, не подвергшиеся опробованию или опробованные по редкой сети. В пределах данной территории с наибольшей вероятностью можно ожидать обнаружения коренных месторождений алмазов мезозойского возраста.

Южно-Атлантическая площадь размещается в юго-восточной части акватории Атлантического океана и представляет собой область развития морских (подводных) россыпей алмазов. Она занимает обширную территорию континентального шельфа, непосредственно примыкающую к побережью Намибии и ЮАР, и простирается вдоль береговой линии на расстояние около 1000 км, а ее ширина, достигая на юге величины более 100 км, постепенно убывает в северном направлении.

Узкая прибрежная полоса, где известны наземные прибрежно-морские и дефляционные (эоловые) россыпи, не включена авторами в состав Южно-Атлантической площади, поскольку добыча алмазов продолжается здесь в течение более 100 лет, и они к настоящему времени в значительной степени отработаны. Некоторые перспективы обнаружения мелких промышленных

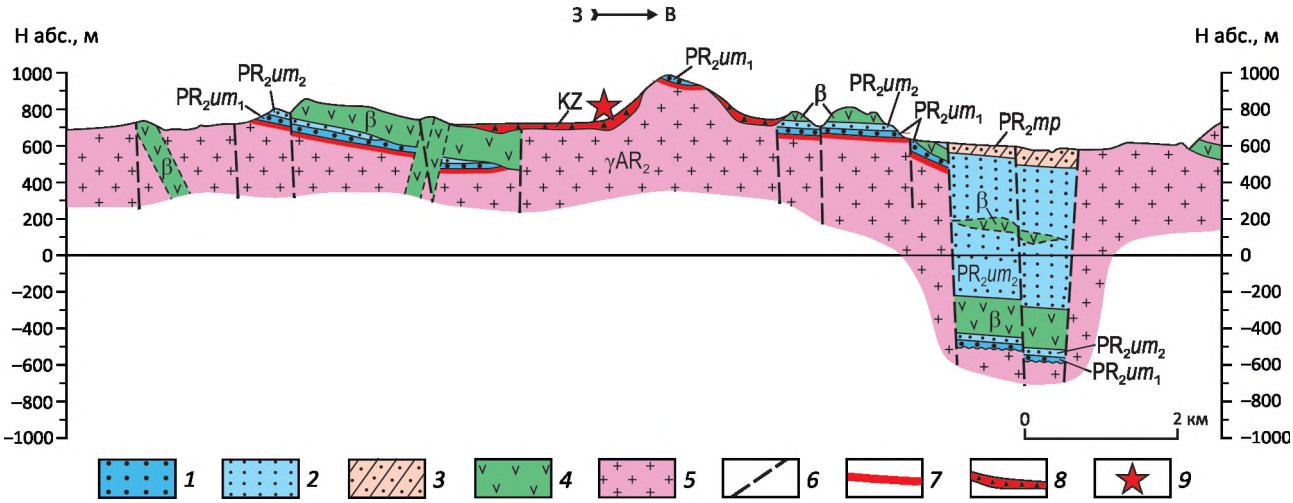


Рис. 5. Геологическая позиция месторождения алмазов Маранге в разрезе позднепротерозойского бассейна Гайрези (Зимбабве):

1–2 – позднепротерозойские терригенные коллекторы алмазов формации Умкондо: *1* – нижняя толща (PR_2um_1), *2* – верхняя толща (PR_2um_2); *3* – позднепротерозойские терригенные породы серии Мапари (PR_2mp); *4* – долериты возраста пост-Умкондо–до-Карру (β); *5* – архейские граниты (γAR_2); *6* – разрывные нарушения; *7–8* – пролювиальные россыпи алмазов: *7*– позднепротерозойские, *8* – кайнозойские; *9* – месторождение Маранге

объектов сохраняются в Северной Намибии, на территории Берега Скелетов, где проводятся поиски россыпей, приуроченных к фрагментам древних высоких морских террас, располагающихся на отметках более 70 м.

Подводные россыпи представлены различными генетическими типами: аллювиальными, дельтовыми, пляжевыми, эоловыми и др. (рис. 6). Содержания алмазов в них весьма изменчивы: от десятых долей карата до нескольких кар./м^3, но качество алмазов очень высокое – в среднем 600–800 долл./кар. Общие ресурсы подводных россыпей на шельфе Юго-Западной Африки предварительно оцениваются в 1–3 млрд. кар., а их общая стоимость – более чем в 500 млрд. долл. Предполагается, что большая часть этих ресурсов располагается в пределах намибийской экономической зоны.

До сих пор коренные источники россыпей точно не установлены. В настоящее время считается, что таковыми являются не местные кимберлиты, а тела, расположенные в глубине континента на расстоянии не менее 1500 км (ЮАР, район Кимберли – Претория). Эта гипотеза имеет достаточно много контраргументов, то есть вопрос о первоисточниках алмазов остается открытым.

Разработка подводных россыпей началась только в начале 90-х годов прошлого века и производится с использованием специально оборудованных судов различными способами, зависящими от горно-геологических условий месторождений. На участках незначительной мощности перекрывающих россыпи отложений используются системы землесосов или управляемые с корабля погрузчики на колесном и гусеничном ходу, закачивающие алмазоносную пульпу по системе труб на обогатительную установку. Для разработки россыпей, перекрытых отложениями значительной мощности, применяется метод разбуривания скважинами большого диаметра.

Следует учитывать, что подводная добыча алмазов, связанная с подъемом огромных объёмов алмазоносной породы с больших глубин, сопряжена со значительными техническими трудностями, требует использования специально оснащённых судов, создания нового оборудования и соответствующего финансирования. При этом, по мнению специалистов по геологии региона, в пределах Южно-Атлантической площади в настоящее время сохраняются высокие перспективы обнаружения новых промышленно-алмазоносных участков шельфа.

Рекомендуемые для изучения территории не исключают возможность выделения других перспективных площадей по мере наработки новых материалов. Примерами могут являться районы Карно-Берберати и Мука-Уадда в Центральноафриканской республике, где коренные источники до сих пор не установлены [3], алмазоносные площади королевства Лесото и другие.

Отметим, что степень изученности выделенных перспективных территорий различная. Относительно лучше исследованы Леонская, Восточно-Танзанийская, Конго-Ангольская, Ботсвано-Зимбабвийская и Восточно-Зимбабвийская площади, где уже в настоящее время

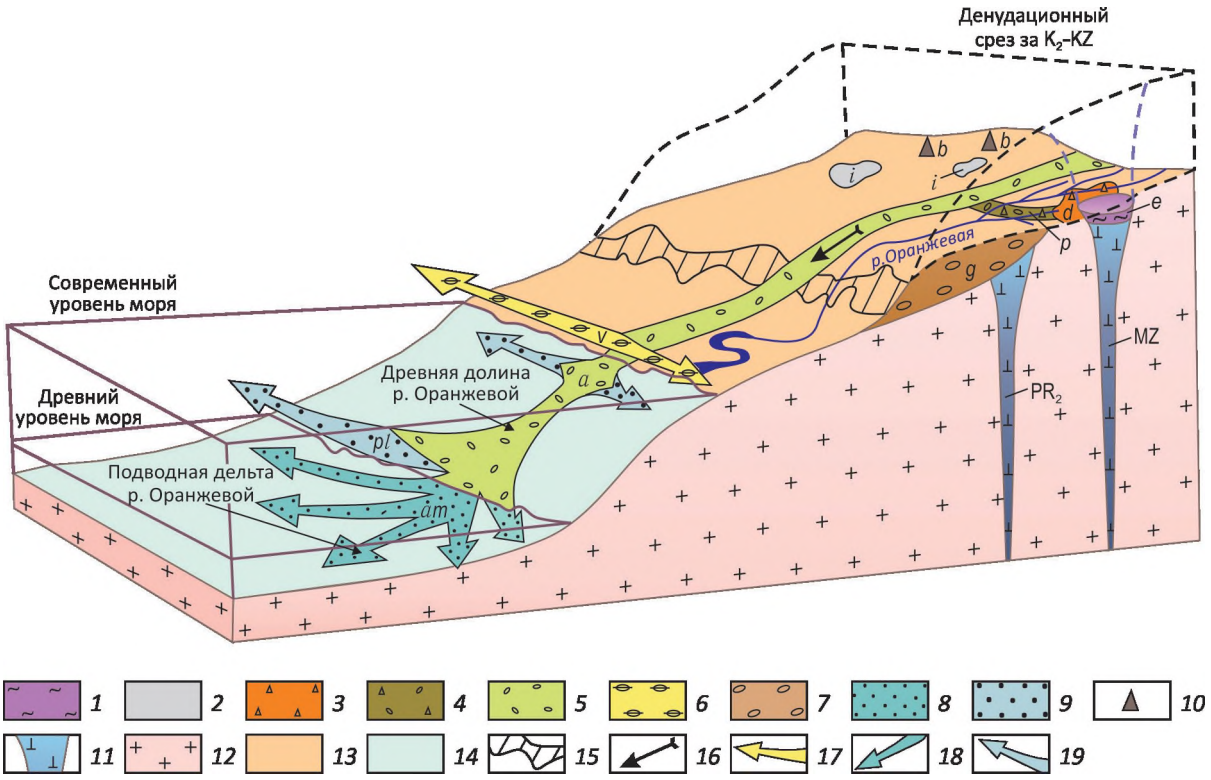


Рис. 6. Модель формирования ореолов рассеяния ИМК и россыпей алмазов на примере Южной Африки. *По M.DeWit* [8] *с дополнениями*:

1–10 – фации ореолов и россыпей: *1* – элювиальные, *2* – иллювиальные, *3* – делювиальные, *4* – пролювиальные, *5* – аллювиальные, *6* – эоловые, *7* – ледниковые (формация Двайка), *8* – дельтовые, *9* – пляжевые, *10* – биогенные; *11*– кимберлитовые тела (PR_2 – позднепротерозойские, MZ – мезозойские); *12* – породы архейско-протерозойского кристаллического фундамента; *13* – континентальная суша; *14* – подводный шельф; *15* – Большой Уступ; *16–19* – направления переноса алмазов и ИМК под воздействием процессов: *16* – аллювиальных, *17* – эоловых, *18* – дельтовых, *19* – пляжевых

возможно выделение поисковых площадей для лицензирования и выполнения геологоразведочных работ.

В итоге проведенных в последние годы комплексных исследований Африканской платформы получены следующие основные результаты:

1. Выполнен террейновый анализ территории Африканской платформы. Четыре крупные области архейской стабилизации – мегакратоны Западно-Африканский, Конго, Угандийско-Танзанийский, Калахари вместе с надвинутыми на них частями окружающих подвижных поясов выделены в качестве алмазоносных субпровинций (Западно-Африканской, Центрально-Африканской, Восточно-Африканской, Южно-Африканской).

2. Выявлены особенности глубинного строения субпровинций, установлены основные параметры литосферы; проведено тектоническое районирование, выделены крупные структуры и блоки, дана предварительная оценка их алмазоносного потенциала.

3. Проведен комплексный анализ космических снимков Африканского континента с использованием материалов радарной топографической съемки, мульти- и гипермультиспектральных космоснимков разных разрешений. В результате компьютерной обработки материалов выделены территории, благоприятные для проявления кимберлитового магматизма.

4. В результате изучения вещественного состава кимберлитов и ИМК из ореолов рассеяния получены данные по химизму барофильных минералов, на основании чего определены их парагенетические ассоциации и дана оценка потенциала алмазоносности известных и прогнозируемых коренных источников.

5. Проведенные на отдельных участках морфогенетические исследования ореолов рассеяния ИМК и россыпей алмазов позволили восстановить условия размыва коренных или россыпных источников кимберлитовых минералов и аккумуляции продуктов их разрушения в терригенных коллекторах, что дало

возможность оценить дальность, направление переноса ИМК и длительность процесса пересортировки зерен.

6. Для каждой из субпровинций и отдельных территорий в их пределах выполнено районирование по условиям ведения поисковых работ и типам поисковых обстановок, позволяющее рекомендовать применение рационального и эффективного комплекса поисковых работ.

7. Созданы банки данных, содержащие основные характеристики кимберлитовых тел, коренных и россыпных месторождений алмазов Африки. Составлены регистрационные карты масштаба 1:2 500 000 на территорию каждой субпровинции.

8. Проведена оценка инвестиционного климата, внутриполитического положения и состояния алмазодобывающей промышленности основных стран – производителей алмазов, а также деятельности ведущих добывающих и геологоразведочных компаний Африки. Собраны материалы по лицензионным площадям, что позволило оценить степень их опоискованности. Полученные данные необходимо учитывать при планировании деятельности российских компаний на зарубежных территориях.

9. На территории Африканской алмазоносной провинции выделено восемь площадей, рекомендуемых для изучения в рамках региональных тематических исследований с целью оценки потенциала алмазоносности. В их пределах прогнозируется выявление алмазоносных кимберлитов широкого возрастного диапазона, а также россыпей алмазов. На некоторых площадях выделены участки для лицензирования и выполнения поисковых работ.

10. Для каждой из перспективных площадей разработан комплекс исследований, включающий как обработку и анализ опубликованных данных, так и сбор материалов в фондах местных геологических организаций. Предусмотрено также проведение небольших объемов полевых работ. Выполнение предлагаемого комплекса исследований позволит оценить потенциал коренной и россыпной алмазоносности изученных территорий, провести их минерагеническое районирование, выделить перспективные участки, разработать рекомендации по очередности и методике проведения на них алмазопоисковых работ.

Рекомендованные исследования будут служить восстановлению позиций горнорудного сектора России на зарубежных территориях и способствовать укреплению политических и экономических связей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Илупин И.П.* Новые данные о типоморфизме хромдиопсида из кимберлитов // Природные ассоциации, особенности состава и свойства минералов-спутников алмаза // Труды ЦНИГРИ. Вып. 229. – М., 1988. С. 7–9.
2. *Соболев Н.В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1974.
3. *Устинов В.Н.* Алмазоносные районы Центральной Африки: палеогеографический анализ и прогнозная оценка // Природные и техногенные россыпи. Проблемы. Решения. – Симферополь: Крымское отделение Украинского государственного геологоразведочного института (КО УкрГГРИ), 2007. С. 128–137.
4. *Устинов В.Н.* Терригенные коллекторы алмазов Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской платформ. – С-Пб: Наука, 2015.
5. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Коренные месторождения алмазов мира. – М.: Недра, 1998.
6. *Archaean* to Proterozoic crustal evolution in the Central zone of the Limpopo Belt (South Africa-Botswana): Constraints from Combined U-Pb and Lu-Hf isotope analyses of zircon / A.Zen, A.Gerdes, R.Klemmd and J.M.Barton // J. of petrology. 2007. № 8. Pp. 1605–1639.
7. *Canales D.G.* The Akwatian diamond field, Ghana, West Africa: source rock // Unpubl. MSc thesis – New Mexico: New Mexico Inst. Mining and Technology, Socorro, 2005.
8. *De Wit M.C.J.* Post-Gondwana drainage and the development of diamond placers in Western South Africa // Economic Geology. 1999. № 94. Pp. 721–740.
9. *Diamond* prospectivity and indicator mineral chemistry: a western Australian perspective / C.B.Smith, H.Lucas, A.E.Hall, R.R.Ramsay // Fifth International Kimberlite Conference. – Brazil, Comphania de Pequisa de Recursos Minerais, Spec.Pub, 1991. Vol. 2/91. Pp. 380–382.
10. *Fishwick S.* Surface wave tomography: Imaging of the lithosphere–asthenosphere boundary beneath central and southern Africa? // Lithos. 2010. Vol. 120. Pp. 63–73.
11. *Green D.H., Sobolev N.V.* Co-existing garnets and ilmenites synthesized at high pressures from pyrolite and olivine basanite and their significance for kimberlite assemblages // Contrib. Mineral. Petrol. 1975. Vol. 50. Pp. 217–229.
12. *Gurney J.J., Glover J.E., Harris P.G.*, (Eds.) A correlation between garnets and diamonds // Kimberlite Occurrence and origin: A Basis for Conceptual Models in Exploration, Geol. Dept. and Univ. Ext., Univ. of WA, Publ., 1984. Vol. 8. Pp. 143–166.
13. *Gurney J.J., Helmstaedt H., Moore R.O.* A review of the use and application of mantle geochemistry in diamond exploration // Pure and Applied Chemistry. 1993. Vol. 65. Pp. 2423–2442.
14. *Kimberlites* from Central Angola: a case study of exploration findings / H. Jelsma, U. Krishnan, S. Perritt // 10th International Kimberlite Conference, Bangalore, 2012.
15. *Lithospheric* structures and Precambrian terrane boundaries in northeastern Botswana revealed through magnetotelluric profiling as part of the Southern African Magnetotelluric Experiment / M.P.Miensopust, A.G.Jones, M.R.Muller et al. // Journal of geophysical research. 2011. Vol. 116.
16. *Mitchell R.H.* Kimberlites: Mineralogy, Geochemistry and Petrology. – New York–London, Plenum Press, 1986.
17. *Moore A.E.* A model for the origin of ilmenite in kimberlite and diamond: implications for genesis of the discrete nodule (megacryst) suite // Contrib. Mineral. Petrol. 1987. Vol. 95. Pp. 245–253.
18. *Origin* and significance of ilmenite megacrysts from kimberlite / D.J.Schulze, P.F.N.Anderson, Jr.B.Carter

Hearn et al // International Geology Review. 1995. Vol. 37. Pp. 780–812.
19. *Petra* Diamonds Ltd. Annual reports and accounts. 2005–2015.
20. *Ramsay R.R., Tompkins L.* The geology, heavy mineral concentrate, mineralogy and diamond prospectivity of the Boa Esperanca and Canada Verde pipes, Corrego D'Anta, Minas Gerais, Brazil // In: Proc. 5th Int Kimb. Conf., Araxa, Brazil, CPRM Spec. Publ. 1B. – Brasilia, 1991. Pp. 329–345.
21. *Robles-Cruz S.E.* Kimberlites associated with the Lucapa structure, Angola. – Universitat de Barcelona, 2013. Vol. 112. Pp. 5.
22. *Tectonic* setting of kimberlites / H.Jelsma, W.Barnett, S.Richards, G.Lister // Lithos. 2009. Vol. 112S. Pp. 155–165.
23. *The African* upper mantle and its relationship to tectonics and surface geology / K.Priestley, D.McKenzie, E.Debayle and S.Pilidou1 // Geophys. J. Int. (2008) 175, 1108–1126, doi: 10.1111/j.1365-246X. 2008. 03951.x.
24. *The Akwatia* diamond-bearing tuffisite dykes swarms (Ghana): syntectonic products of deep mantle origin emplaced during the final stages of the Eburnian orogeny (2050–2000 Ma) / C.Delor, J.Milesi, J.Lafon, R.Krymsky // 20th Colloquium of African Geology, 2004.
25. *The evolution* of lithospheric mantle beneath the Kalahari Craton and its margins. / W.L.Griffin, S.Y.O'Reilly, L.M.Natapov, C.G.Ryan // Lithos. 2003. Vol. 71. Pp. 215–241.
26. *The lithospheric* architecture of Africa: Seismic tomography, mantle petrology, and tectonic evolution / G.C.Begg, W.L.Griffin, L.M.Natapov et al // Geosphere. 2009. Vol. 5. № 1. Pp. 23–50.26.
27. *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.
28. *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.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РИСУНКОВ

Рисунки и другие графические материалы представляются в цветном или черно-белом варианте в электронном виде. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170х237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG и TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Exsel. Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. **Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются.** Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.