

УДК 553.81.068.5:552.51/.52:551.242.51  
DOI: 10.52349/0869-7892\_2024\_99\_15-33

В. Н. Устинов (АО «АГД Даймондс»)

## ТЕРРИГЕННЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ И РОССЫПИ АЛМАЗОВ ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМ

Выявлены особенности строения и условий формирования терригенных коллекторов алмазов на территориях древних платформ в течение доплатформенного, протоплатформенного и платформенного мегаэтапов эволюции. Сделаны выводы о потенциале россыпной и коренной алмазоносности. Выделены этапы формирования коллекторов алмазов в фанерозое. Показано, что образование ореолов рассеяния индикаторных минералов кимберлитов и россыпей различалось во времени в пределах платформ Гондвана и Лавразия. Исключение представляет неоген-четвертичный этап, который проявился во всех алмазоносных провинциях мира. Перечислены факторы формирования промышленных россыпей алмазов в процессе накопления терригенных коллекторов.

*Ключевые слова:* коллекторы алмазов, россыпь, коренной источник, алмаз, ореол рассеяния, кимберлит

V. N. Ustinov (JSC «AGD Diamonds»)

## TERRIGENOUS DIAMOND-BEARING ROCKS AND DIAMOND PLACERS OF ANCIENT PLATFORMS

There is specified structure and conditions of forming terrigenous diamond-bearing rocks within the territories of ancient platforms during the Preplatform, Protoplatform and Platform mega-stages of evolution. There are made conclusions about diamond placers and primary deposits potential. Stages of forming diamond-bearing rocks in the Phanerozoic are distinguished. The formation of dispersion halos of kimberlite indicator minerals varied in time on the Gondwana and Laurasia platforms. The exception is the Neogene-Quaternary stage, which manifested itself within all diamond provinces of the world. There are listed factors of forming commercial diamond placers during sedimentation of terrigenous diamond-bearing rocks.

*Keywords:* terrigenous diamond-bearing rocks, placer, primary deposit, dispersion halo, diamond, kimberlite

**Для цитирования:** Устинов В. Н. Терригенные коллекторы и россыпи алмазов древних платформ // Региональная геология и металлогения. – 2024. – № 99. – С. 15–33. DOI: 10.52349/0869-7892\_2024\_99\_15-33

**Введение.** Детальное изучение терригенных коллекторов алмазов позволяет решать широкий круг научных и практических задач, направленных на обнаружение коренных и россыпных месторождений. Коллекторы – это алмазоносные отложения, характеризующиеся определенными литолого-стратиграфическими, минералогическими, палеогеоморфологическими, фацально-динамическими, морфогенетическими и другими признаками обстановок эволюционного развития коренных источников и россыпей. Прогнозирование и поиски погребенных месторождений на основе изучения осадочных толщ 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 фацальных, динамических типах пород

и формах палеорельефа. Ореолы характеризуются повышенными содержаниями ИМК относительно фоновых и нередко включают промышленные россыпи алмазов. Под россыпью мы понимаем скопление рыхлого или сцементированного обломочного материала, содержащего алмазы, сформированного в результате денудации коренных источников или терригенных коллекторов. Россыпным месторождением является россыпь, рентабельная в настоящее время для промышленной разработки.

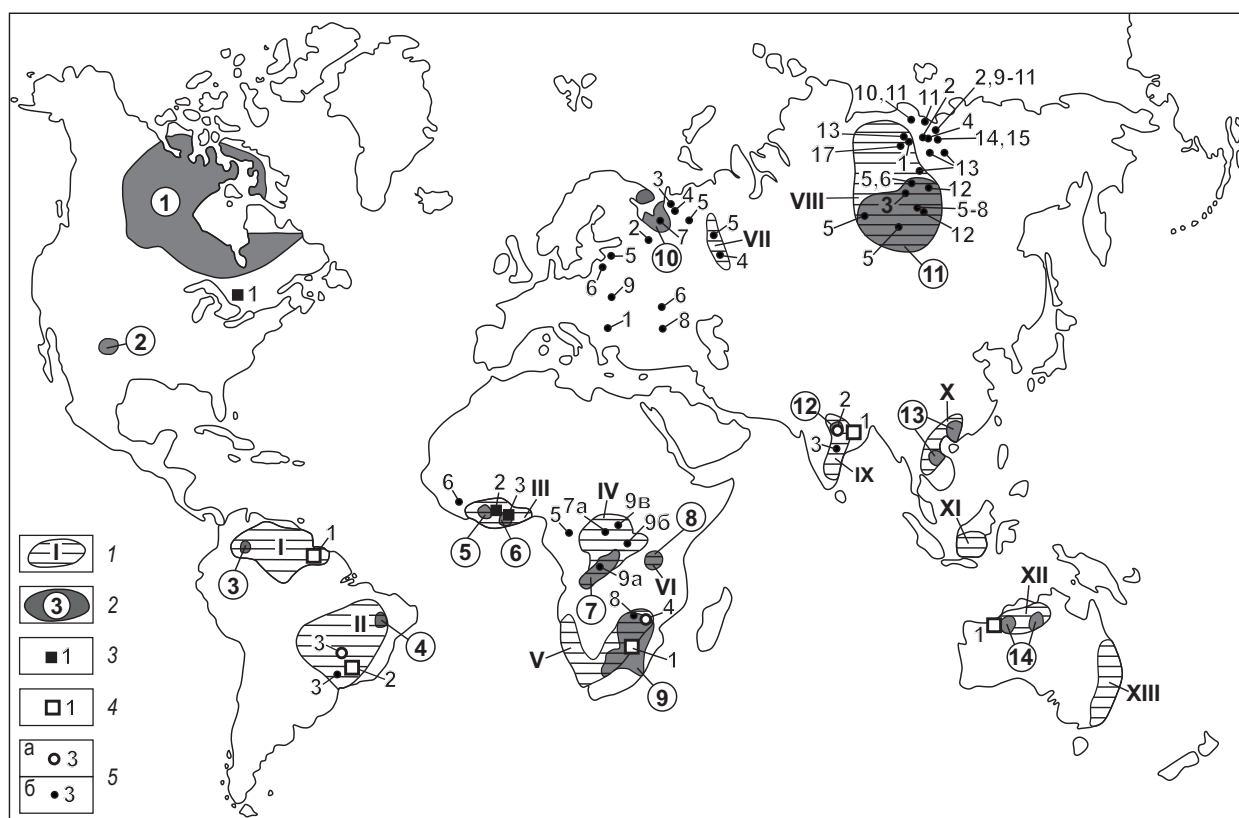
Первым важным результатом комплексного изучения коллекторов алмазов явилось выделение на Сибирской платформе в конце 1950-х годов перспективной площади, в пределах которой специалистами ВСЕГЕИ М. И. Плотниковой, О. Г. Салтыковым и др. [9] прогнозировались коренные источники. Этими источниками стали открытые 40 лет спустя высокоалмазоносные кимберлиты Накынского поля и богатейшие россыпи ближнего переноса.

Формирование терригенных коллекторов алмазов началось в позднем архее и продолжается в настоящее время (рис. 1, 2). Накопление алмазных толщ происходило в течение доплатформенного, протоплатформенного и платформенного мегаэтапов эволюции древних структур [13; 14]. В составе последнего выделяются также ранняя (авлакогенная) и поздняя (плитная) стадии. Образование терригенных коллекторов алмазов происходило на фоне направленного эволюционного развития древних платформ, которое характеризовалось формированием зрелой континентальной коры, алмазоносной литосферной мантии, внедрением коренных источников, их последующим размывом и аккумуляцией продуктов разрушения в осадочных толщах, которые накапливались в зеленокаменных, протоплатформенных прогибах, авлакогенах, впадинах, синеклизах и перекрывали склоны положительных структур.

На основе обширного материала, собранного автором (с использованием опубликованных и фондовых данных), рассмотрены особенности строения и условий формирования алмазоносных толщ на территориях древних платформ,

сделаны выводы о потенциале россыпной и коренной алмазоносности различных мегаэтапов их эволюции. Выделены этапы образования коллекторов в фанерозое: 1 – ордовик-раннесилурийский (470–433 млн лет), обрамление Восточно-Европейской платформы и, предположительно, Сибирская провинция; 2 – среднедевонский–раннекаменноугольный (393–323 млн лет), Восточно-Европейская и Сибирская провинции; 3 – среднекаменноугольный–среднепермский (323–259 млн лет), Восточно-Европейская, Сибирская, Африканская, Южно-Американская провинции; 4 – триасовый–раннемеловой (251–100 млн лет), Сибирская провинция и ее обрамление, Африканская провинция; 5 – поздне меловой (100–66 млн лет), Африканская и Южно-Американская провинции; 6 – неоген-четвертичный (23 млн лет – до голоцена), все алмазоносные провинции. Рассмотрены необходимые условия образования промышленных россыпей в процессе накопления терригенных коллекторов и формирования ореолов рассеяния ИМК.

**Терригенные коллекторы доплатформенного мегаэтапа известны в пределах зеленокаменных**



**Рис. 1. Схема размещения коренных источников и терригенных коллекторов алмазов ([12], с дополнениями)**

1 – россыпные алмазоносные субпровинции (по [10]): I – Гвианская, II – Бразильская, III – Западно-Африканская, IV – Центрально-Африканская, V – Южно-Африканская, VI – Восточно-Африканская, VII – Уральская, VIII – Якутская, IX – Индийская, X – Китайская, XI – Индонезийская, XII – Западно-Австралийская, XIII – Восточно-Австралийская; 2 – регионы развития коренных источников алмазов (цифры в кружках): 1 – Канадский, 2 – Колорадо-Вайоминг, 3 – Гуаньямо, 4 – Брауна, 5 – Сьерра-Леоне, Гвинея, Либерия, 6 – Кот-д'Ивуар, 7 – Анголо-Конголезский, 8 – Шиньянга, 9 – Ботсвана, ЮАР, Зимбабве, 10 – Архангельский, 11 – Сибирский, 12 – Индийский, 13 – Китайский, 14 – Аргайл, Эллендейл; 3–5 – терригенные коллекторы алмазов, сформированные в течение мегаэтапов (номера соответствуют литолого-стратиграфическим уровням на рис. 2): 3 – доплатформенного, 4 – протоплатформенного, 5 – платформенного (a – ранняя стадия, авлакогенная, б – поздняя стадия, плитная)

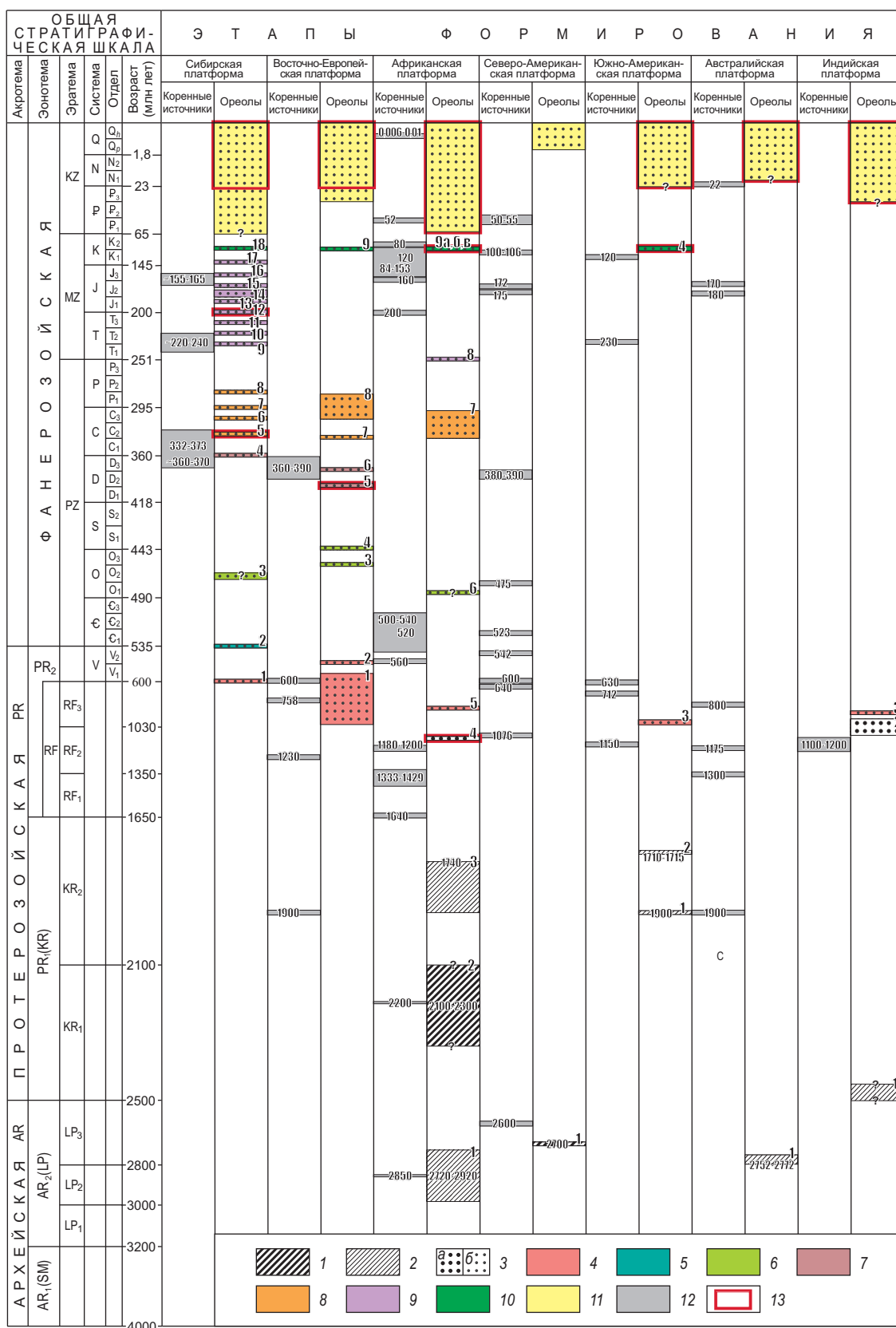


Рис. 2. Этапы формирования коренных источников и терригенных коллекторов алмазов

1–3 – мегаэтапы формирования терригенных коллекторов (цифры – возраст в млн лет): 1 – доплатформенный, 2 – протоплатформенный, 3 – платформенный (а – ранняя стадия, авлакогенная, б – поздняя стадия, плитная); 4–11 – этапы формирования коллекторов на позднеплатформенной стадии: 4 – позднерифейский–вендский, 5 – раннекембрийский, 6 – ордовик–раннесилурийский, 7 – среднедевонский–раннекаменноугольный, 8 – среднекаменноугольный–среднепермский, 9 – триасовый–раннемеловой, 10 – позднемеловой, 11 – миоцен–четвертичный; 12 – этапы формирования коренных источников (цифры – возраст в млн лет); 13 – промышленные россыпи алмазов. Порядковые номера ореолов ИМК см. на рис. 1

поясов (ЗКП) Мичипикотен (Северо-Американская провинция) и Биррим (Африканская провинция). ЗКП Мичипикотен размером 140 × 38 км располагается в пределах юго-западной части кратона Сьюпериор. В разрезе выполняющих его образований выделяется три циклита установленной мощностью около 11 км, которые отвечают определенным этапам эволюции пояса (рис. 3): 1) нижний (2,9 млрд лет) мощностью около 3 км представлен преимущественно толеитовыми базальтами, образованными в результате обширных подводных излияний; 2) средний (2,75 млрд лет) мощностью также около 3 км представлен преимущественно кислыми и средними, реже основными вулканитами, сформированными в результате извержений с возрастанием кремнекислотности; 3) верхний (2,7 млрд лет) мощностью около 5 км сложен терригенными образованиями в низах разреза и переслаиванием осадочных и вулканогенных пород в верхах толщи.

В терригенных образованиях верхнего циклита, занимающих около 70% разреза, установлены алмазы и широкий спектр ИМК. Они приурочены к слою метаконгломератов мощностью около 170 м, а максимальная их мощность составляет более 450 м.

Терригенная толща представлена пятью циклитами меньшего ранга, имеющими мощности от первых сотен метров до 1,2 км. В основании циклитов залегают литологически более грубые породы (песчаники или конгломераты), которые вверх по разрезу сменяются относительно тонкозернистыми образованиями – алевролитами и аргиллитами. Детальный литолого-фациальный анализ метаконгломератов выполнен К. Вендланд [34]. Показано, что толща, в составе которой выделены три ассоциации пород, формировалась в условиях аллювиально-дельтовой системы, выдвинутой во впадину рифтогенной депрессии. К первой отнесены наиболее грубообломочные конгломераты, которые образовались в условиях, вероятно, надводной части речной дельты, т. е. являются аллювиальными. По простиранию и в разрезе они замещаются ассоциацией дельто-баровых образований (конгломераты, песчаники) подводного склона конуса выноса. К третьей ассоциации литотипов отнесены тонкозернистые песчаники с гравием и галькой, алевролиты и аргиллиты. Они составляют верхнюю часть разреза и сменяют дельто-баровые фации по латерали. Алмазы и ИМК приурочены к наиболее грубообломочным аллювиальным и дельто-баровым образованиям.

Нижние части разрезов серии (супергруппы) Биррим, залегающей на образованиях верхнего архея, представлены сланцами, чередующимися метаморфизованными аркозовыми и граувакковыми песчаниками, которые образуют ритмичность флишевого типа. Карбонатные породы отсутствуют. Верхняя часть разреза серии представлена вулканитами основного, среднего, реже кислого состава. Мощность серии – 7,5 км. Породы метаморфизованы в условиях преимущественно зеленосланцевой фации, на контактах с гранитоидами – амфиболитовой. Возраст серии оценивается исследователями по-разному, но большинство датировок сходится в интервале около 2,3–2,1 млрд лет. Алмазы установлены в нижней части ее разреза. Они приурочены к маломощным (0,5–2,0 м) слоям конгломератов, образующих выдержанные пласты. Галька хорошо окатана и отсортирована по размеру [4]. Представлена преимущественно кварцем, реже гнейсами, гранитами, метавулканитами и железистыми кварцитами. Алмазоносные горизонты сфор-

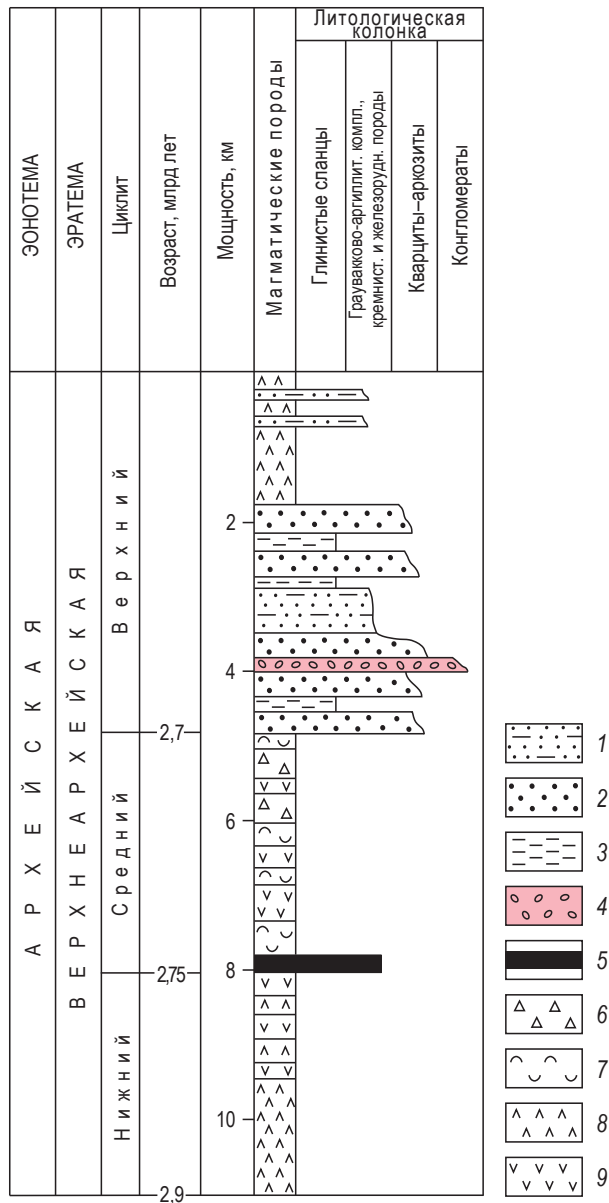


Рис. 3. Разрез толщи пород верхнего архея с линзами алмазоносных конгломератов, выполняющих прогиб в пределах зеленосланцевого пояса Мичипикотен (по [13; 20], с дополнениями) 1 – граувакково-аргиллитовые комплексы; 2 – кварциты–аркозиты; 3 – глинистые сланцы; 4 – алмазоносные конгломераты; 5 – кремнистые и железорудные породы; 6–8 – кислые и средние вулканиты; 6 – брекчи и агломераты, 7 – туфы, 8 – лавовые потоки и силлы; 9 – основные вулканиты и силлы



мированы в прибрежно-морских обстановках пляжевых зон.

Алмазы характеризуются незначительными размерами (0,03–0,07 кар): фракция –2 мм составляет по массе около половины, а по количеству зерен – 90; фракция +4 мм составляет около 1% [10]. Преобладают бесцветные октаэдры (50%) с плоскими и гладкими гранями, 25% – додекаэдры, 10% – алмазы переходных форм. Нередко инкрустированы кварцем без признаков истирания, присутствуют камни с пятнами пигментации. ИМК не выявлены.

Долгое время предполагалось, что коренные источники алмазов в пределах Бирримского ЗКП находятся в местном архейском фундаменте, но до настоящего времени они не выявлены. Исследования последних лет показали, что алмазоносность может быть связана также с раннепротерозойскими коматиитами возрастом 2,2 млрд лет в разрезе самого зеленокаменного пояса (Canales, 2005).

Алмазоносные коллекторы доплатформенного мегаэтапа, образованные в пределах зеленокаменных поясов позднего архея и раннего протерозоя, характеризуются рядом особенностей:

1) толщи, вмещающие алмазоносные горизонты, характеризуются многокилометровыми мощностями, метаморфизмом преимущественно зеленосланцевой фации и складчатостью;

2) мощность продуктивных горизонтов достигает десятков и первых сотен метров;

3) алмазоносные образования формировались в условиях аллювиально-дельтовых систем и пляжевых зон. Типично континентальные образования не выявлены;

4) ИМК характеризуются крайне низкими содержаниями или их отсутствием, что может быть связано с их растворением в условиях метаморфизма;

5) среди алмазов преобладают мелкие (1–2 мм) классы (рис. 4);

6) по форме кристаллов резко доминируют октаэдры (40–50%). Явные следы механического износа на поверхностях кристаллов не отмечаются [28]. Имеются перспективы выявления промышленных месторождений с мелкими алмазами.

**Терригенные коллекторы протоплатформенного мегаэтапа.** Протоплатформенный мегаэтап охватывает различные временные интервалы эволюции древних платформ, но не выходит за рамки позднего архея – раннего протерозоя. Протоплатформы представляют собой округло-угловатые, чаще всего изометричные блоки континентальной коры площадью от сотен тысяч до первых млн км<sup>2</sup>. Их отличиями от платформ неогей являются многообразие проявлений магматизма, локальная ремобилизация фундамента с формированием гранито-гнейсовых куполов, большая мощность (до 10–12 и 20 км) и несколько повышенная дислоцированность осадочного чехла, нередко – метаморфизм в зеленосланцевой фации. Протоплатформенный чехол не образовывал сплошного покрова как в фанерозое [5] и формировался в пределах крупных изометрич-

ных впадин – протосинеклиз и проторифтогенных (палеорифтовых) структур. Как правило, впадины протоплатформенного чехла не наследуются структурами неогей.

В течение протоплатформенного мегаэтапа в позднем архее – раннем протерозое формирование терригенных коллекторов происходило в протосинеклизах и впадинах (бассейнах). Наиболее известными среди них являются Трансвааль, Витватерсранд, Тарква, Гурон, Понгола и др.

Достоверные находки нескольких сотен алмазов зафиксированы в терригенных толщах протосинеклизы Витватерсранд, россыпное проявление алмазов выявлено в Тарквейских образованиях. Единичные находки алмазов отмечаются в протоплатформенных раннепротерозойских(?) конгломератах в районе Вайрагара в пределах кратона Бастар, Индийская провинция [27].

Разрез пород серии Витватерсранд и входящей в ее состав группы Централ Ранд построен циклично (рис. 5). В разрезе выделяется семь регрессивно-трансгрессивных циклитов высокого порядка, представленных конгломератами в низах разреза и более тонкообломочными образованиями в верхах толщ. По объему они отвечают так называемым «суперциклитам» длительностью формирования около 40–45 млн лет и в первом приближении соответствует периодам фанерозоя.

На фоне крупной цикличности выделяются и циклиты более мелкого порядка, в которых конгломераты сменяются вверх по разрезу гравелистами, песчаниками и алевролитами. Конгломераты

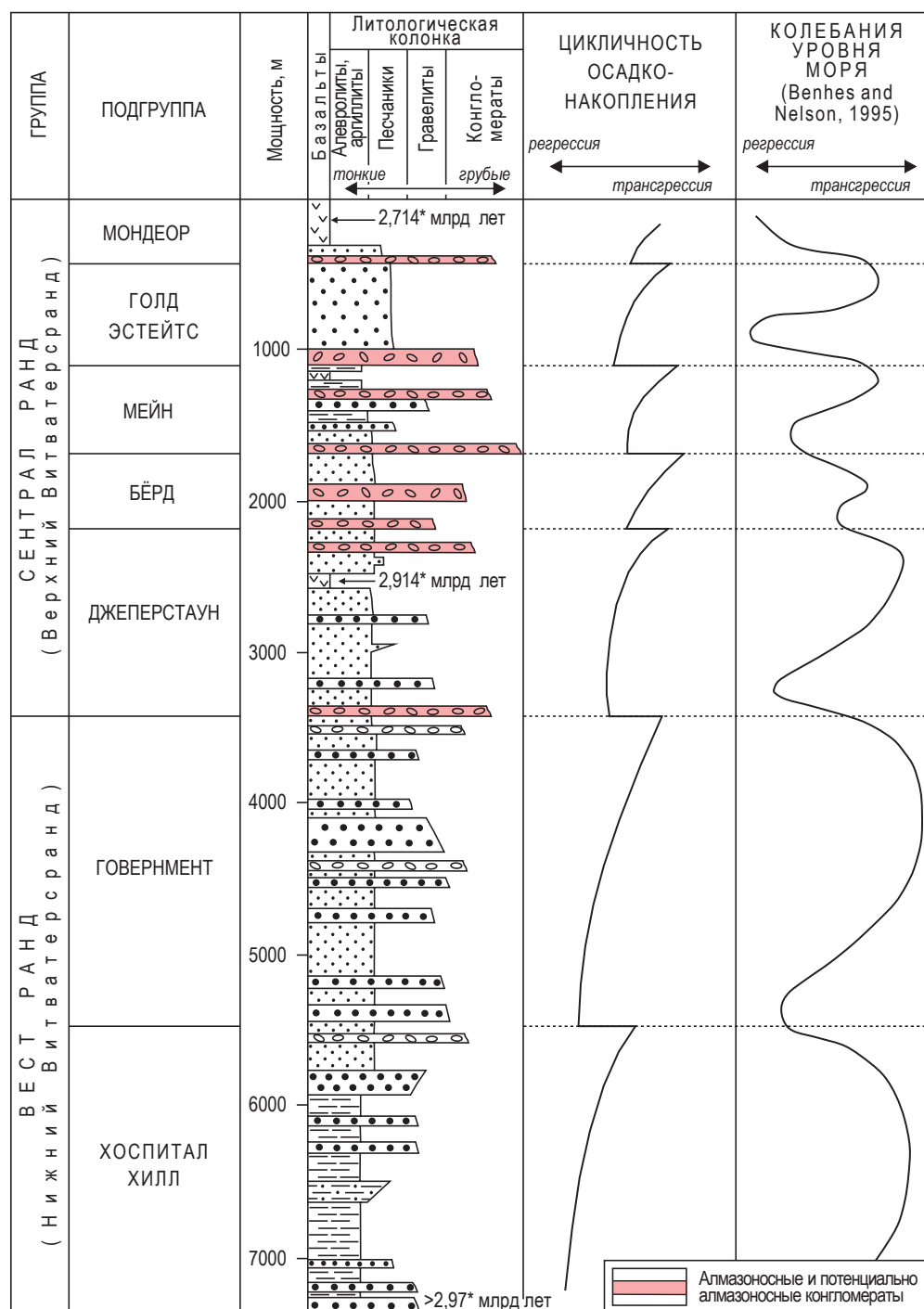


Рис. 4. Алмазы из позднеархейских коллекторов зеленокаменного пояса Мичипикотен

а – общий вид; б – октаэдры; в – ромбододекаэдры; г – кубоиды; д – агрегатные кристаллы; е – скульптуры растворения на поверхности октаэдра. Фото Л. Ф. Брюс [20]

в разрезах таких циклитов имеют мощность первые метры, а образованы чаще всего мелкогалечными разностями, в верхней части встречаются валунно-галечные разновидности. Обломочный материал представлен преимущественно кварцем и кремнистыми породами, постоянно присутствуют хорошоокатанные обломки пирита и пирротина. Выделяются конгломераты двух типов – так называемые рифы и банкетты. К первому отно-

сятся залежи, выполняющие эрозионные врезы. Конгломераты характеризуются грубой кривой слоистостью, характерной для аллювиальных и дельтовых обстановок. Эти образования формировались в условиях регрессий в сравнительно высокоэнергетических условиях среды. Другой тип конгломератов (банкетты) встречается намного реже, но для россыпей золота и, вероятно, алмазов имеет большее значение. Они образовались



П р и м е ч а н и е . Возрастные датировки по Mineral Resources... (1998 г.)

Рис. 5. Литолого-стратиграфическая колонка протоплатформенных терригенных коллекторов алмазов серии Витватерсранд (по [35], с дополнениями)

при трансгрессии бассейна на сушу, сформированную ранее продуктивными образованиями. Конгломераты второго типа слагают пластообразные залежи и имеют широкое распространение. Они образованы в обстановке пересортировки более древнего плаща отложений, которая могла иметь место в условиях относительно расчлененного рельефа и приглубых побережий с активной волновой деятельностью.

Песчаники и алевролиты мощностью первые сотни метров также характеризуются преимущественно кварцевым составом [8]. В них развита тонкая параллельная слоистость, свойственная для бассейновых условий седиментации. В верхах циклитов встречаются «углеродистые слойки», сложенные керогеном, которые свидетельствуют о первично биогенном происхождении вещества, которое накапливалось, вероятно, в лагунных обстановках. Таким образом, в разрезах толщи и по латерали намечается постепенная смена континентальных или прибрежно-бассейновых условий осадконакопления бассейновыми.

Нижние части разрезов «суперциклитов» формировались в условиях регрессии уровня Мирового океана и в основном совпадали с региональными восходящими тектоническими движениями в районе бассейна Витватерсранд, что приводило к образованию наиболее значимых россыпей золота и размыву коренных источников алмазов, которые отлагались в конгломератах мощностью от первых метров до 30 м. При понижении базиса

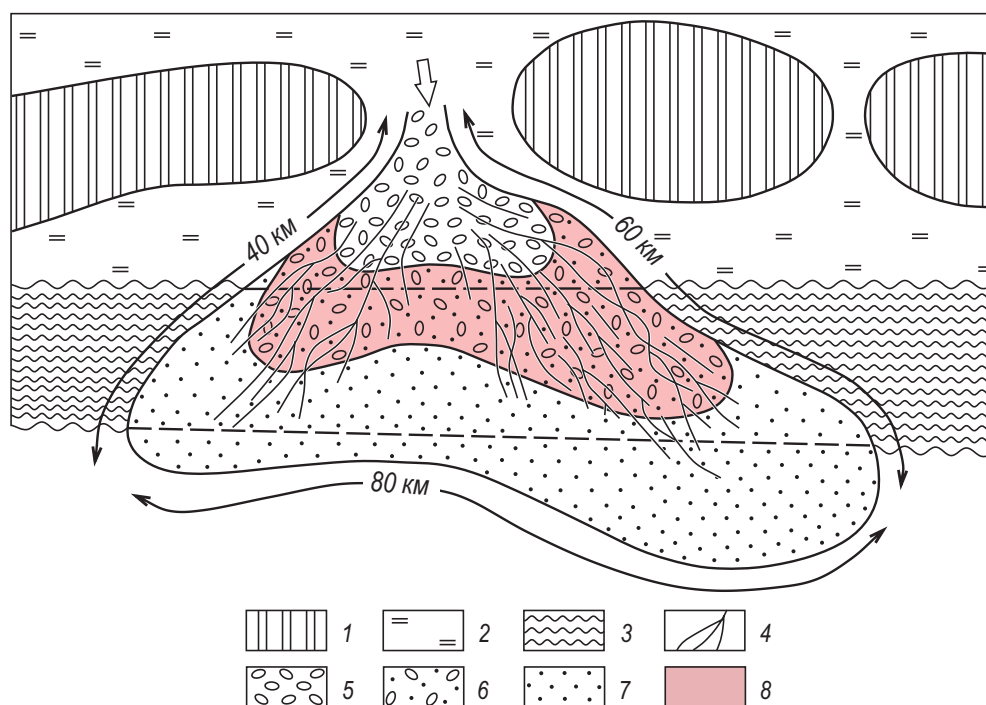
эрозии алмазы концентрировались в аллювиальных русловых конгломератах, а также в фациях надводных и подводных частей дельт (рис. 6).

Наиболее благоприятные условия для концентрации тяжелых минералов создавались в средней части конуса выноса, представленного средне-мелкогалечными конгломератами подводного склона дельты. В позднем архее существовали пустынные ландшафты, лишенные значительно количества осадков и растительности, а поэтому эрозия и аккумуляция происходили достаточно быстро.

При повышении уровня Мирового океана, которые в целом совпадали с прогибаниями территории, происходило формирование более тонко-обломочных пород и захоронение продуктивных горизонтов. Трансгрессировавший на континентальную сушу бассейн приводил к пересортировке залежей алмазов, сформированных в аллювиально-дельтовых обстановках, и образованию пляжевых россыпных проявлений.

Наиболее значимые регрессии приходится на начальные этапы формирования «суперциклитов», которые являются наиболее продуктивными с точки зрения россыпеобразования.

Формирование терригенных коллекторов алмазов в позднем архее происходило в обстановках трансгрессивных и регрессивных колебательных движений уровня Мирового океана, что могло приводить к образованию пляжевых, аллювиальных и дельтовых россыпей алмазов.



**Рис. 6. Модель формирования аллювиально-дельтового конуса выноса в бассейне Витватерсранд (по [11], с дополнениями)**  
 1 – купольные поднятия; 2 – ранняя низкоэнергетическая фация; 3 – зона волновой переработки; 4 – русла, обогащенные тяжелыми минералами (pay streaks); 5 – фация вершины конуса; 6 – фация середины конуса; 7 – фация основания конуса; 8 – область, наиболее благоприятная для концентрации алмазов

Отметим, что в нижней (неалмазоносной) части серии отмечаются тиллиты и ленточные глинистые сланцы, что указывает на существование опеденений уже в позднем архее. По мнению Н. М. Чумакова [15], эти образования следует относить к тиллоидам, которые сформировались за счет размыва некогда существовавших ледниковых отложений.

Публикации по специализированным исследованиям найденных алмазов отсутствуют, хотя по устным сообщениям известно, что они выполняются в Геологической службе ЮАР. По имеющимся сведениям, алмазы мелкие и имеют зеленый цвет, являющийся результатом радиоактивного воздействия. Они сходны с алмазами их Верхнеиндийских конгломератов Индии. Другие данные в литературе отсутствуют.

Таким образом, возраст коренных источников алмазов в терригенных коллекторах толщи Витватерсранд старше 2900 млн лет. Вероятнее всего, относится к временному интервалу 2920–2950 млн лет.

Другим примером коллекторов алмазов протоплатформенного этапа являются раннепротерозойские образования бассейна Тарква (250 × 30 км), который выполнен терригенными породами одноименной серии. Серия Тарква, которая несогласно залегает на зеленокаменных породах бирримской серии, но смята в складки вместе с ними, имеет следующее строение (снизу вверх): 1) алмазоносные конгломераты Кавере, содержащие горизонты аркозовых песчаников и кварцитов с гальками пород серии Биррим (200 м); 2) алмазоносные и золотоносные песчаники и конгломераты Банкет (500 м); 3) кварциты с прослоями филлитов (1000 м). Пересекается жилами пегматитов возрастом 1700–1740 млн лет, что позволяет определить верхний предел ее формирования.

Алмазоносные конгломераты, часто выполняющие хорошо выраженные эрозионные ложбины, характеризуются кривой слоистостью, элементарной циклическостью, зернистостью пород, в пределах которых уменьшается вверх по разрезу. Комплекс признаков указывает на то, что накопление алмазоносных горизонтов происходило в условиях предгорий путем слияния речных конусов выноса [11]. Палеопотоки текли с востока на запад, от поднятия бирримского фундамента.

По размеру, качеству, морфологическим и другим особенностям алмазы из тарквейских терригенных коллекторов сходны с бирримскими, которые и служили для них источниками камней. Сведения по находкам ИМК отсутствуют.

В *Австралийской провинции* (кратон Пилбара) алмазы обнаружены в древних золотоносных конгломератах, которые входят в состав неоархейской формации Харди (до 3000 м) возрастом 2772–2752 млн лет [18], выполняющей бассейн Фортезкью. Алмазоносные конгломераты залегают в основании толщи. Среди них встречаются мелко-, средне- и крупногалечные разновидности пород, в тяжелой фракции преобладают пирит, циркон и монацит, в легкой – кварц и поле-

вой шпат. Среди глинистых минералов доминирует каолинит, свидетельствующий о размыве коры выветривания. Алмазоносный горизонт с преобладающей мощностью 2–5 м характеризуется выдержанностью по простиранию более чем на 100 км. Плащеобразные отложения, отличающиеся хорошей сортировкой и окатанностью галек, образовались, по мнению А. А. Константиновского, в прибрежно-морских обстановках [4]. Встречаются конгломераты аллювиального генезиса, выполняющие долинообразные понижения, в которых их мощность возрастает до 40–60 м.

Содержание алмазов неравномерное, иногда достигает 0,75–1,0 кар/т, самый крупный камень весил 3,5 кар. Преобладают октаэдры.

Терригенные алмазоносные метаморфизованные образования, перекрывающие архейские гнейсы, выявлены в районе Вайрагара в пределах кратона Бастар (Индийская провинция). Они объединяются в Вайрагарский метаосадочный комплекс (ВМК), который прорван гранитными интрузиями возрастом 2465–2270 млн лет, поэтому предполагается раннепротерозойский возраст пород, хотя нельзя исключать, по-видимому, и позднеархейское время их формирования. Образования представлены полимиктовыми конгломератами, гравелитами, кварцитами и кварц-слюдными сланцами. Среди крупнообломочного материала доля кварца составляет около 80%, остальная часть представлена гнейсами, жильным кварцем, метабазиитами [25].

Несмотря на большое количество алмазов, добываемых из четвертичных отложений в районе Вайрагара, начиная с XV века, в конгломератах ВМК геологами Геологической службы Индии достоверно обнаружен один мелкий алмаз (3,5 × 2,5 мм) в светло-зеленой оболочке, представленный октаэдрическим двойником по шпинелевому типу. ИМК и коренные источники алмазов не выявлены.

В пределах *Южно-Американской провинции* к терригенным коллекторам протоплатформенного чехла относятся образования серии Эспиназу и группы Рорайма в Британской Гайане, которые перекрывают зеленокаменные породы кристаллического основания древней платформы. Мощность пород, выполняющих протосинеклизу (впадину) Рорайма, составляет до 2,5 км, а ее площадь соизмерима с размерами бассейна Витватерсранд – 73 000 км<sup>2</sup>. Время формирования толщи относится к интервалу 1900–1540 (1660) млн лет, а базальные алмазоносные конгломераты датируются 1900 млн лет [30]. Таким образом, возраст бассейна Рорайма преимущественно раннепротерозойский. Породы группы представлены в низах разреза галечными и валунными конгломератами мощностью до 10 м с линзами песчаников. Вверх по разрезу они сменяются толщей косослоистых песчаников с прослоями алевролитов и конгломератов. Галька различной окатанности представлена метаморфическими породами фундамента.

В разрезе группы Рорайма снизу вверх выделяются четыре формации: Уайрен, Кукуенан, Уае-мануэ и Матаун. Нижняя часть формации Уайрен



(до 850 м) выполняет сильно врезанные в породы основания речные долины. В низах вышележащих литолого-стратиграфических подразделений также прослеживаются конгломераты, выполняющие долинообразные понижения. Алмазы встречаются в базальных конгломератах формации Уайрен, в средней части разреза (формация Уемануэ) и верхней части – в грубообломочных образованиях формации Матаун. Большинство исследователей признается аллювиально-дельтовые обстановки формирования алмазоносных горизонтов.

Среди алмазов преобладают кривогранные формы со следами механического износа, встречаются балласы и карбонадо. В отложениях формаций встречаются камни различных размеров, наиболее мелкие алмазы характерны для образований толщи Матаун. ИМК в конгломератах не установлены, а коренные источники алмазов в образованиях формации Рорайма пока неизвестны.

Считается, что конгломераты Рорайма являются одним из источников четвертичных россыпей, которые разрабатываются в настоящее время, в отличие от древних коллекторов, которые являются непромышленными.

В восточной части Южно-Американской провинции (штат Минас-Жерайс, Бразилия) алмазоносные образования протоплатформенной стадии приурочены к разрезу супергруппы (серии) Минас (или Эспиназу), выполняющей бассейн Эспиназу (входит в состав прогиба Мараньян-Паранаибу-Сан-Франциску). Период осадконакопления ограничивается временем 1760–1710 млн лет [26], но в дальнейшем (1500–1200 млн лет) породы были подвержены складчатости и метаморфизму низких ступеней во время так называемой орогении Эспиназу [19; 23]. Отсюда нередко возникают «плавающие» датировки времени осадконакопления в бассейне, к которому нередко относятся и последующие события.

Супергруппа Эспиназу суммарной мощностью 5–7 км залегает на образованиях архейского кристаллического фундамента и подразделяется на две группы: Гинда, в составе которой выделяются формации Бандерина, Сао Джоао до Шапада, Дата, Кальдероеш, Соп-Брумадино и Гальо до Мигель и группа Мата с формациями Санта Рита, Коррего до Боргеш, Коррего да Бандейра, Коррего Перейра и Рио Парде Гранде [16]. Разрезы формаций построены циклично, в их нижних частях залегают более грубообломочные породы, представленные песчанками с гравием и галькой или конгломератами, которые вверх по разрезу сменяются литологически более тонкими образованиями: тонкозернистыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Отложения супергруппы Минас образовались в пределах прибрежной равнины в аллювиальных, озерных и прибрежно-морских обстановках.

Алмазы установлены в терригенных отложениях формации Соп-Брумадино (мощность до 250 м) возрастом около 1715–1710 млн лет, которая представлена в низах разреза полимиктовыми (алмазоносными) или кварцевыми конгломерата-

ми, сменяющимися вверх по разрезу кварцитами, песчаниками, нередко слюдистыми, алевролитами, аргиллитами и филлитами (рис. 7). Толща формировалась в условиях озерно-аллювиальной равнины, а алмазоносные конгломераты имеют аллювиальный генезис. Часть исследователей полагает, что они сформированы за счет размыва пород, которые были выведены в сферу эрозии в областях воздымания [16]. Другие считают [17], что они формировались только в пределах понижений рельефа, обусловленных формированием мааров кимберлитовых тел (рис. 8), и являются эпикластическими образованиями, синхронными проявлению алмазоносного магматизма. Опубликованные данные по алмазам и ИМК из терригенных коллекторов формации Соп-Брумадино отсутствуют.

В составе верхней части супергруппы Эспиназу в центральной части одноименного хребта (район Диамантина) выделяется алмазоносная формация Гран Могол мощностью 350 м, которая ранее считалась возрастным аналогом формации Соп-Брумадино. В последнее время доказано, что образования этих толщ являются разновозрастными и формировались в различных палеогеографических обстановках. Алмазоносные отложения Гран Могол являются более молодыми и были сформированы в эоловых обстановках [22]. Это единственное в мире столь древнее проявление алмазов в эоловых фациях.

Терригенные коллекторы алмазов, сформированных на протоплатформенном мегаэтапе в пределах прогибов позднего архея и раннего протерозоя, отличаются следующими особенностями.

1. Мощности толщ, вмещающих алмазоносные горизонты, составляют многие км.

2. Метаморфизм низких ступеней не является характерной особенностью, а проявляется лишь местами.

3. Алмазоносные горизонты мощностью первые десятки, реже сотни метров, формировались в аллювиальных, дельтовых и пляжевых обстановках.

4. До настоящего времени достоверные находки ИМК в коллекторах протоплатформенного этапа не установлены, что отчасти может быть связано с их слабой изученностью.

5. В большинстве случаев среди алмазов преобладают мелкие классы (1–2 мм), крупные камни (более 10 кар) встречаются лишь в коллекторах формации Рорайма.

6. По форме кристаллов в большинстве алмазопроявлений доминируют ламинарные формы, в коллекторах Рорайма – округлые.

7. Следы механического износа на поверхностях кристаллов в большинстве случаев не отмечаются.

8. Алмазы характеризуются зелеными и бурыми пятнами пигментации.

9. Промышленные россыпи не выявлены.

10. Вероятно обнаружение месторождений алмазов с преобладанием мелких камней.

**Терригенные коллекторы платформенного мегаэтапа.** В течение платформенного мегаэтапа

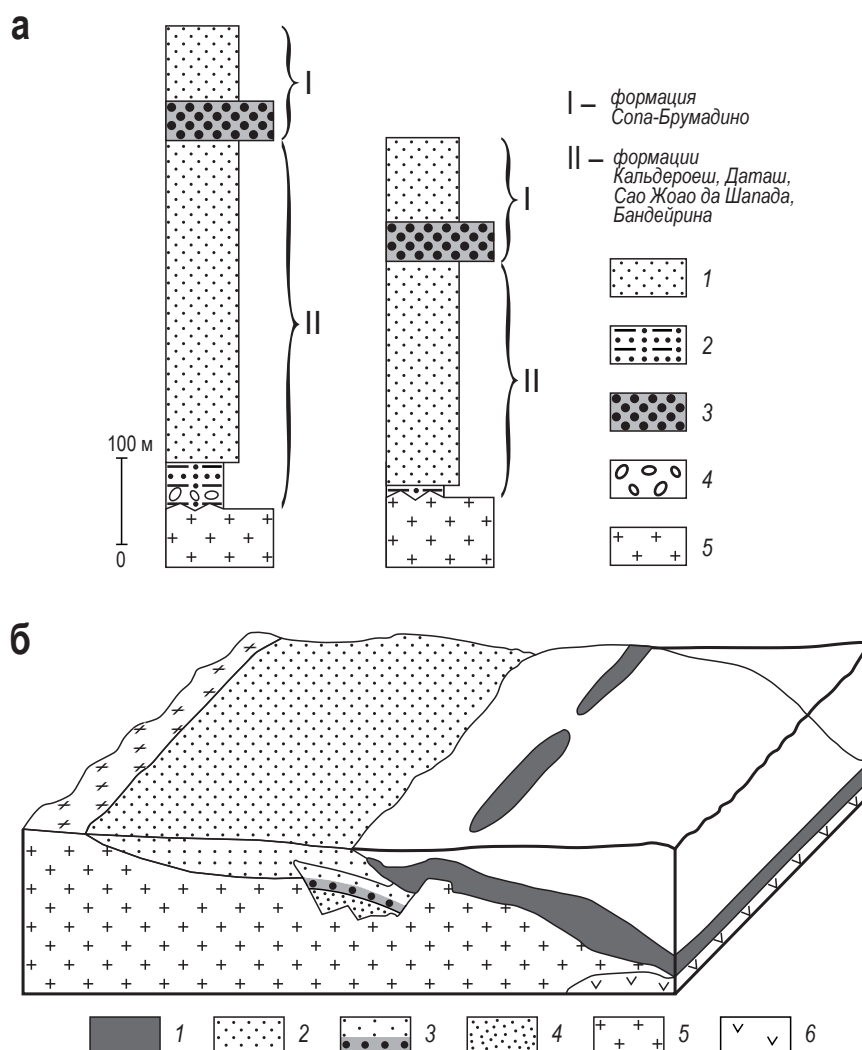


Рис. 7. Строение разрезов раннепротерозойских терригенных коллекторов алмазов формации Сапа-Брумадино (а) и ее позиция в тектонической структуре региона (б) (по [17], с дополнениями)

а: 1 – песчаники и кварциты, 2 – филлиты, 3 – алмазоносные полимиктовые конгломераты, 4 – кварциты и конгломераты, 5 – гранитоиднейсы; б: 1–4 – терригенные формации: 1 – группа Серро, 2 – Гальо до Мигель, 3 – Сапа-Брумадино, 4 – Сао Жоао да Шапада; 5, 6 – типы земной коры: 5 – континентальная, 6 – океаническая

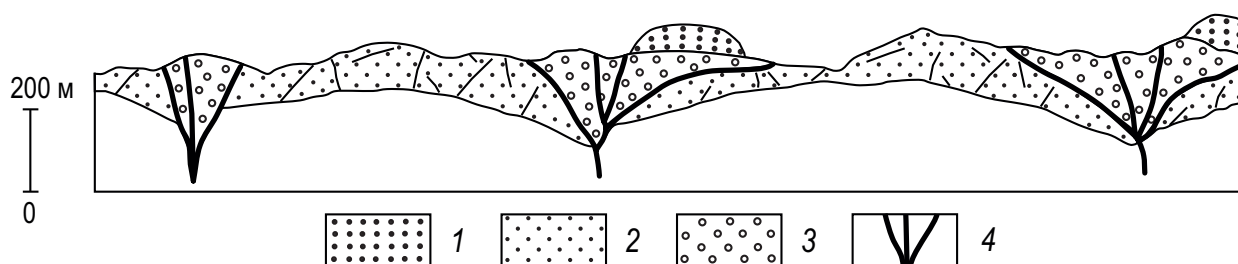


Рис. 8. Терригенные коллекторы алмазов формации Сапа-Брумадино, выполняющие маары кимберлитовых тел [17]

1–3 – терригенные формации: 1 – Гальо до Мигель, 2 – Сао Жоао да Шапада, 3 – Сапа-Брумадино (выполняет маар); 4 – подводящие кимберлитовые каналы

терригенные коллекторы алмазов формировались в пределах впадин, прогибов и синеклиз.

Коллекторы *раннеплатформенной стадии*, которая в большинстве регионов охватывает преимущественно ранний и средний рифей (мезопротерозой Международной шкалы), известны в Африканской и Индийской провинциях. Они формировались в пределах глубоко погружающихся, сравнительно небольших по размеру впадинах [13].

На территории кратора Бунделханд Индийской провинции терригенные коллекторы алмазов известны в образованиях Виндийской впадины (бассейна) мощностью до 2 км, занимающей площадь около 100 000 км<sup>2</sup>. Возраст одноименной супергруппы оценивается в 1470–890 млн лет [33]. Разрез слагающих впадину отложений представлен снизу вверх кварцитами, окремненными сланцами, кварцитами, сланцами и песчаниками.

В составе супергруппы снизу вверх выделяют четыре группы (Семри, Каймур, Рева и Банде). Мелкие россыпи алмазов встречаются в конгломератах формаций Итва, Джири и Гафра группы Рева [27], мощность которой варьирует от 100 до 300 м [6]. С учетом того, что терригенные коллекторы сформированы после внедрения кимберлитовой трубки Маджгаван (1075 млн лет), которая прорывает нижнюю половину разреза Виндийской супер-

группы, время их образования можно оценить окончанием мезопротерозоя – началом неопротерозоя (рис. 9). Считается, что отложения сформированы в различных частях морского бассейна.

Алмазы приурочены к линзам конгломератов, залегающих в основании формаций. Характеризуются неравномерной мощностью, которая варьирует от 5 см до 2–4 м, увеличиваясь в пределах палеоканалов. Конгломераты плохо отсортированы (см. рис. 9), обломочный материал различной степени окатанности представлен песчаниками подстилающих пород, яшмой, кремнистыми известняками и жильным кварцем. Подстилаются и перекрываются они прибрежно-морскими отложениями. Вероятно, образование россыпей алмазов происходило в условиях подводно-дельтовых конусов выноса. Содержания алмазов варьируют от 0,1 до 0,2 кар/т. Средний вес алмаза – 0,5 кар. Наиболее крупные алмазы, выявленные в процессе работ, весили 3,38; 2,27 и 1,68 карат. Алмазы ювелирного качества составляют 55%. По данным специалистов Геологической службы Индии, стоимость алмазов из конгломератов выше, чем в трубке Маджгаван. Сведения о наличии ИМК в конгломератах отсутствуют. Россыпные месторождения уже более пяти веков разрабатываются старателями, а в последнее время и мелкими

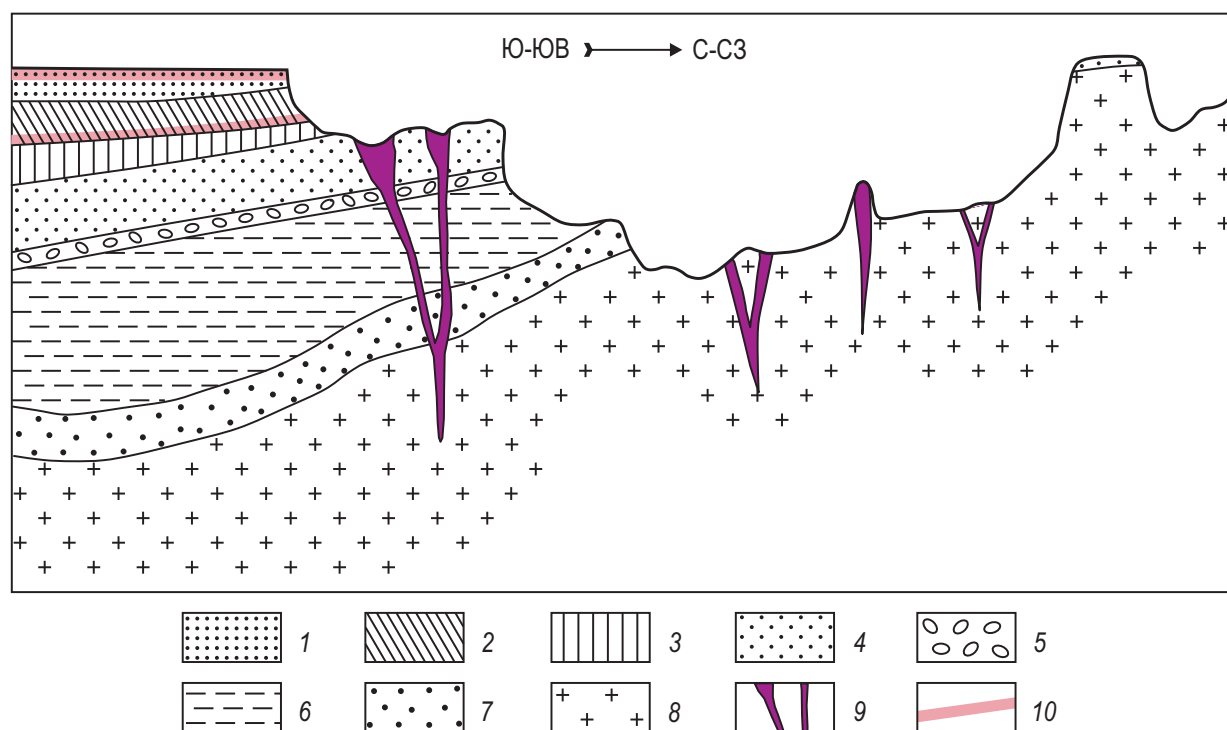


Рис. 9. Схема строения позднепротерозойских терригенных коллекторов алмазов верхней части разреза группы Рева Виндийской супергруппы в районе Панна, кратор Бундерланд, Индийская провинция (по [27], с дополнениями)

1, 2 – терригенные коллекторы алмазов верхней части группы Рева: 1 – песчаники формации Гафра, 2 – сланцы, песчаники и конгломераты формации Джири; 3 – посткимберлитовые сланцы формации Панна; 4–7 – докимберлитовые терригенные породы: 4 – песчаники формации Багайн, 5 – конгломераты формации Пипартола, 6 – сланцы формации Палкаван, 7 – песчаники формации Пандвафол; 8 – породы архейского кристаллического фундамента; 9 – позднепротерозойские кимберлитовые тела; 10 – алмазоносные горизонты

компаниями. Алмазонасными являются как древние протерозойские конгломераты, так и четвертичные отложения, сформированные за счет размытия последних.

Характерным примером прогиба ранней стадии платформенного мегаэтапа является бассейн Гайрезы в пределах кратона Зимбабве Африканской провинции (рис. 10).

Группа Умкондо слагает краевую часть западного фланга Мозамбикского пояса, обрамляющего с востока кратон Зимбабве и архейский подвижный пояс Лимпопо. Породы группы Умкондо образуют вулканогенно-осадочную толщу большой мощности (до 3600 м), несогласно залегающую на гранитах и гнейсах архейского кристаллического фундамента. Она делится две части: восточную – «фации Мозамбика» и западную – «фации Зимбабве». «Фации Мозамбика» представляют собой сильно деформированные и средне-высокометаморфизованные кварциты и метапелиты, а «фации Зимбабве» – слабо деформированные и слабометаморфизованные конгломераты, песчаники, аргиллиты и карбонаты. Деформации и метаморфизм произошли в ходе неопротерозойской (поздний рифей – венд) Пан-Африканской активизации и образования Мозамбикского складчатого пояса. Осадочная толща «фаций Зимбабве» прорвана обширными силлами долеритов и вмещает эффузивы типа платобазальтов, время формирования которых оценивается в примерно 1099 млн лет [36].

Мезопротерозойские конгломераты формации Умкондо в россыпном районе Маранги (восточная часть пояса Гайрезы) являются алмазонасными. Содержания алмазов составляют в среднем около 1,5 кар/т (около 4,2 кар/м<sup>3</sup>). Конгломераты (1–2 м) залегают в основании разреза толщ, контакт с породами фундамента неровный, эрозионный, с небольшими карманообраз-

ными (0,5 м) понижениями. Алмазонасные отложения формировались в условиях аллювиальных конусов выноса, которые образовались в течение довольно короткого промежутка времени за счет размытия площадных кор химического выветривания. Трансгрессия бассейна привела к затоплению и последующему погребению аллювиальных россыпей алмазов.

Небольшая часть кристаллов (около 10%) представлена алмазами, имеющими качество, близкое к ювелирному. Они имеют зеленоватый и коричневатый цвета. При этом более мелкие кристаллы чаще характеризуются зеленоватой окраской и идиоморфизмом, с увеличением размера увеличивается содержание коричневатых кристаллов округлой формы. И те, и другие алмазы имеют пигментацию. По морфологии среди кристаллов ювелирного качества (рис. 11) выделяются октаэдры с округлыми ребрами, иногда с небольшим искажением (3%), шпинелевые двойники и их обломки (2%), а также полицентрические кристаллы и кристаллы с неравномерным ростом граней, двойники и обломки (5%).

Ресурсы алмазов в палеороссыпях (конгломератах) Маранги могут быть оценены примерно в 70 млн кар. Следует отметить, что древние кварцитовидные породы обладают высокой твердостью, а поэтому затраты на извлечение алмазов будут более высокими, чем в кимберлитах, а потери – выше за счет их передрабливания.

Терригенные коллекторы алмазов, сформированные на раннеплатформенной стадии в раннем и среднем рифее (мезопротерозой Международной шкалы), отличаются следующими особенностями.

1. Мощности терригенных толщ составляют первые км.
2. Следы регионального метаморфизма отсутствуют, местами проявлен контактовый.

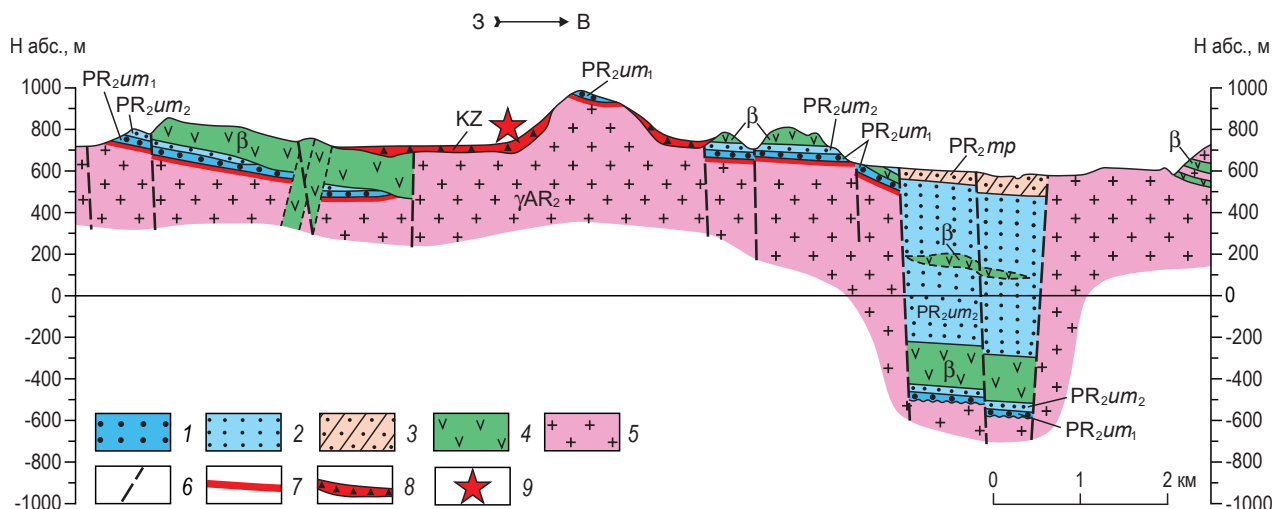


Рис. 10. Строение позднепротерозойского бассейна Гайрезы (Зимбабве)

1, 2 – позднепротерозойские терригенные коллекторы алмазов формации Умкондо: 1 – нижняя толща, 2 – верхняя толща; 3 – позднепротерозойские терригенные породы серии Мапары; 4 – долериты возраста пост-Умкондо-до-Карру; 5 – архейские граниты; 6 – разрывные нарушения; 7, 8 – пролювиальные россыпи алмазов: 7 – позднепротерозойские, 8 – кайнозойские; 9 – месторождение Маранги





*Кристалл правильной  
октаэдрической  
формы с округлыми  
ребрами*

*Шпинелевые  
двойники,  
обломки  
двойников*

*Кристаллы с  
неравномерным  
развитием  
граней*

Рис. 11. Кристаллы алмаза ювелирного качества из протерозойских конгломератов формации Умкондо (в районе Маранги)

3. Состав преимущественно кварцевый, указывающий на формирование за счет кор химического выветривания.

4. Алмазоносные горизонты незначительной мощностью (первые метры) формировались в полифациальных аллювиальных, золотых, дельтовых и пляжевых обстановках.

5. В отложениях встречаются ИМК, но в незначительных (по сравнению с фанерозойскими коллекторами) концентрациях.

6. Среди алмазов встречаются камни различных размеров.

7. По форме кристаллов в большинстве алмазопрооявлений доминируют октаэдрические формы.

8. Следы механического износа на поверхностях кристаллов отмечаются только в пределах россыпей дальнего переноса и многократного переотложения (россыпь Чиманимани).

9. «Признаки древности», выражаемые зелеными и бурными пятнами пигментации, проявляются на поверхностях только части кристаллов, нередко в подчиненном количестве.

10. Известны промышленные россыпи, в том числе с уникальными ресурсами (в районе Маранги) – более 70 млн кар.

11. Изучение терригенных коллекторов раннеплатформенного этапа свидетельствует о высоком потенциале россыпной и коренной алмазности раннего–среднего рифея. Примерами существующих коренных месторождений являются трубки Премьер и Аргайл.

Терригенные коллекторы *позднеплатформенной стадии* установлены на всех древних платформах и их обрамлении, где известны коренные источники алмазов. Они охватывают осадочные породы и осадки широкого временного интервала: от позднерифейских–вендских (непротерозойских) до четвертичных. Дочетвертичные алмазоносные образования сохранились преимущественно в отрицательных структурах, а четвертичные отложения развиты практически повсеместно. Коллекторы алмазов на позднеплатформенной стадии формируются в течение следующих временных интервалов: 1) поздний рифей; 2) венд; 3) ранний палеозой; 4) средний палеозой; 5) поздний палеозой; 6) мезозой; 7) кайнозой.

*Позднерифейские (1030–600 млн лет)* терригенные коллекторы алмазов формировались

в первой половине мезопротерозоя (тоний, криогений) Международной шкалы (1000–635 млн лет). Они широко представлены на платформах Годваны (Африканской, Южно-Американской и Индийской). В пределах Северо-Американской и Сибирской провинций позднерифейские образования пока не выявлены, хотя их существование вполне возможно; известны также в пределах Восточно-Европейской платформы.

Начало позднего рифея явилось важным рубежом эволюции позднего докембрия – был завершен распад Пангеи, начатый в раннем рифее, когда произошло окончательное обособление Гондваны и Лавразии. На этой стадии плащеобразно залегающие осадочные образования начали сменять глубокие, но относительно небольшие по площади прогибы и впадины [13].

В пределах *синеклизы Конго* формируются образования «тиллитового комплекса» Белле-Либонго (850–650 млн лет), в основании которого выявлены алмазоносные конгломераты Мобилонг. Грубообломочные плохо отсортированные породы формировались за счет размыва кор выветривания в условиях русел меандрирующих рек и дельтовых конусов выноса [32].

Содержания алмазов в конгломератах составляют от 0,3 до 2,0 кар/м<sup>3</sup> при запасах 3,78 млн кар (по оценке Геологической службы Камеруна). Алмазы мелкие, преобладает фракция –2 мм, самый крупный весит около 2 кар, представлены преимущественно ромбододекаэдрами и октаэдрами. ИМК к настоящему времени не выявлены.

Судя по хорошей сортировке алмазов и отсутствию кимберлитовых минералов, можно предположить, что алмазы переотложены из более древних терригенных коллекторов. Вероятно, конгломераты типа Мобилонг являлись одним из источников алмазов россыпей районов Мука-Уаада и Карно-Берберати в Центральноафриканской республике.

Терригенные коллекторы *Южно-Американской провинции* представлены образованиями ледникового ряда. Непротерозойская группа Макаубас датируется возрастом 1000–950 млн лет [31]. Коллекторы мощностью до 300–400 м [4] перекрывают породы супергруппы Эспиназу, которые «прорваны» дайками филлитов. Последние представляют собой многочисленные протяженные (до 2–3 км)

ветвящиеся жилы и секущие дайки, мощность которых колеблется от 1–2 до 40 м. Порода имеет сланцеватую плейчатую текстуру. Состоит в основном из серицита (65%), возможно, с примесью каолинита, хлорита и тонкозернистого гематита (примерно 35%), частично гидратированного.

Вероятнее всего, филлиты являются сильно выветрелыми кимберлитами, содержащими большое количество ксеногенного материала вмещающих пород. Этому не противоречат повышенные содержания в них кремнезема (до 48%), глинозема (15–38%) и низкие содержания магния, а также минеральная ассоциация, представленная магнетитом, гематитом, цирконом, рутилом, кварцем и другими «некимберлитовыми» минералами. Алмазы характеризуются хорошим качеством и крупностью (до 35–38 кар). Данные о находках ИМК отсутствуют.

Образования формации Макаубас представлены широким рядом ледниковых образований: от водно-ледниковых до тиллитов [17]. Среди крупнообломочного материала присутствуют породы кристаллического фундамента и подстилающих пород супергруппу Эспиназу. Алмазы в незначительных количествах встречаются в базальном горизонте толщи.

Есть сведения о встречаемости алмазов в ледниковых отложениях формации Джекутай, которая формировалась в середине криогения, вторая половина позднего рифея [21]. Находки выявлены в пределах восточной части Бразилии и происходят, вероятно, за счет размыва более древних терригенных коллекторов формаций Макаубас и Соп-Брумадино.

В *Индийской провинции* в интервале 870–500 млн лет [29] происходило накопление пород в осадочном бассейне Курноль (450 м). В нижней части разреза залегают алмазоносные олигомиктовые конгломераты и перекрывающие их кварциты Баганалле общей мощностью от 10 до 50 м. Крупнообломочный материал представлен жильным кварцем и кремнистыми известняками, цемент сильно ожелезненный. По простиранию конгломераты замещаются глауконитовыми песчаниками. По комплексу признаков установлено, что они формировались в пляжевой зоне морского бассейна [27].

Содержание алмазов в пляжевых конгломератах составляет в среднем 0,08 кар/м<sup>3</sup>. Большая часть алмазов ювелирного качества, преобладающая масса кристаллов – менее 0,5 кар, самый крупный весил 6,15 кар. Доминируют додекаэдриды и комбинационные формы ряда октаэдр–додекаэдр. Присутствуют зеленые и коричневые пятна пигментации, следы травления и магматической коррозии. Признаки транспортировки на алмазах из древних пляжевых конгломератах не отмечаются, что предполагает их отложение на незначительном удалении от коренных источников.

На юге *Восточно-Европейской платформы* в рифейских конгломератах, гравелитах и песчаниках белокоровичской свиты выявлено более 100 алмазов, в том числе 3 зерна во фракции

–4+2 мм [3]. В пределах Подольского мегаблока мелкие кристаллы установлены в полесских и могилев-подольских песчаниках рифея–венда. Встречаются пиропы и пикроильмениты.

*Вендские коллекторы алмазов* известны в пределах Восточно-Европейской и Сибирской платформ.

В северной части Восточно-Европейской платформы терригенные коллекторы позднего венда (редкинский горизонт) залегают с угловым несогласием на корях выветривания разновозрастных пород архейско-раннепротерозойского кристаллического основания, образованиях рифея, реже нижнего венда.

В основании разреза редкинского горизонта залегают конгломераты и гравелиты с небольшим количеством в них обломков подстилающих пород, в том числе базальтов, розовых шокшинских кварцитов, кавернозных доломитов, туфоалевролитов. Вверх по разрезу они замещаются толщей песчаников с прослоями гравелитов и мелкогалечных конгломератов. Они образуют основание сплошного осадочного чехла Русской плиты.

При детальном изучении керны установлено, что вендская толща подразделяется на несколько пачек, представляющих собой небольшие седиментационные циклы, сложенные в основании брекчиями, конглобрекчиями, конгломератами, сменяющимися выше по разрезу гравелитами, песчаниками, алевролитами и глинами.

Нижняя часть редкинского горизонта (усть-пинейская свита), представленная конгломератами и брекчиями с линзовидными прослоями песчаников, по структурно-текстурным особенностям сходна с тиллитами. В валунно-галечных конгломератах венда в бассейнах рек Подломка и Бол. Шуйка [7] найдено пять мелких кристаллов алмаза. Данные по находкам ИМК отсутствуют.

На севере Волюно-Подолки в разрезе нижнего отдела валдайской серии венда установлено несколько стратиграфических горизонтов, содержащих ИМК и алмазы. Они выявлены в базальных горизонтах чарторийской, розничской и колковской свит, которые представлены разнозернистыми песчаниками с линзами и прослоями конгломератов и гравелитов. Мелкие (–0,5 мм) алмазы, представленные октаэдрами и кубооктаэдром, выявлены в трех пунктах.

Вендские терригенные коллекторы алмазов выявлены в толще отложений Предуральского краевого прогиба на территории Северного, Южного и Среднего Урала за пределами Восточно-Европейской платформы. Пиропы и алмазы установлены в образованиях аслянской, ашинской, ильавожской и кочешорской свит.

В пределах Сибирской провинции алмазы и ИМК установлены в образованиях томторской свиты венда на Билиро-Уджинском поднятии [2]. В грубообломочных отложениях выявлены пикроильмениты, пиропы, хромшпинелиды и хромдиопсиды.

В фанерозое древних платформ терригенные коллекторы алмазов формировались в раннем, среднем, позднем палеозое, раннем, позднем мезозое и кайнозое.

Терригенные коллекторы *раннего палеозоя* (кембрий–силур) развиты весьма ограниченно и только в обрамлении Восточно-Европейской платформы. Они представлены алмазоносными образованиями полудовской свиты верхнего ордовика и колчимской свиты нижнего силура и Предуральского прогиба.

Потенциальным коллектором алмазов является криволукский горизонт среднего ордовика центральной части Сибирской платформы.

Коллекторы среднего палеозоя (девон – ранний карбон) развиты более широко, чем нижнепалеозойские, на территориях Восточно-Европейской и Сибирской провинций. В пределах Восточно-Европейской платформы и ее обрамления известны коллекторы такатинской свиты среднего девона Предуральского прогиба. На Тимане установлено наличие комплекса ИМК и алмазов в среднедевонских образованиях. В позднедевонских–раннекаменноугольных терригенных коллекторах Донбасса (долгинская и самарская свиты) в области его сочленения с Приазовским массивом выявлены неокатанные зерна пиропы (до 15 зн./20 л) и единичные кристаллы мелких (–0,5 мм) алмазов. Ореолы рассеяния ИМК и алмазы встречаются в свитах среднего и позднего девона северного борта Московской синеклизы.

В Сибирской провинции к среднепалеозойским терригенным коллекторам относятся образования среднего и позднего девона, выполняющие Ыгыттинскую впадину, которые представлены харьяюрхской, аппаинской, виллючанской, змяксинской и онкучахской свитами. Раннекаменноугольные коллекторы известны на юго-западе провинции в разрезе Присяно-Енисейской синеклизы. К ним относятся баероновская и мурская толщи. На юго-западном склоне Тунгусской синеклизы ореолы рассеяния выявлены в образованиях тушамской свиты. В области сочленения синеклизы с Байкитской антеклизой ИМК и алмазы установлены в породах тычанской свиты, где они образуют известный Тарыдакский ореол рассеяния. На северо-востоке провинции в пределах рифейского Кютюндинского грабена в основании разреза нуччаюрегинской свиты выявлены пиропы и алмазы.

*Позднепалеозойские (средний карбон – пермь)* терригенные коллекторы широко представлены на территориях Сибирской, Восточно-Европейской, Южно-Американской и Африканской провинций.

На территории *Сибирской провинции* в условиях активизации дифференцированных тектонических движений и заложением позднепалеозойской Тунгусской синеклизы и более мелких структур формируются терригенные коллекторы средне-, позднекаменноугольного, ранне- и среднепермского возраста. Ореолы рассеяния образовались в полифациальных континентальных и бассейновых обстановках. Создавались благоприятные условия для формирования россыпей ближнего и умеренного переноса. До настоящего времени в ископаемом состоянии сохранилась мелкая промышленная среднекаменноугольная россыпь Верхне-Иреляхская в пределах Мало-Ботубинского алмазоносного района,

остальные переотложены в более молодые мезозойские россыпи.

В пределах *Восточно-Европейской провинции* позднепалеозойские континентальные и бассейновые ореолы ближнего и умеренного переноса формировались в среднем карбоне на склоне Мезенской синеклизы. Впоследствии в условиях преобладающего прогибания территории коренные источники оказались в погребенном состоянии, и ореолы не формировались. Имеются указания о существовании ореолов рассеяния ИМК в пермских коллекторах, но эти данные требуют дополнительной проверки. В Центральном Донбассе в составе исаевской, авиловской и араукаритовой свит верхнего карбона и картамышской свиты нижней перми обнаружены ИМК и алмазы. Содержания пиропов в отдельных пробах достигают 100 зн./20 л, преимущественно мелкие (–0,5 мм) алмазы выявлены в количестве нескольких десятков зерен. Позднепалеозойские коллекторы служили источниками алмазов в неоген-четвертичных образованиях Донбасса.

В течение позднего палеозоя на платформах Гондваны преобладал холодный климат, существовали ледники. Ореолы рассеяния и небольшие россыпные проявления алмазов известны в Африканской и Южно-Американской провинциях.

В *Африканской провинции* позднепалеозойская эпоха проявилась формированием ореолов рассеяния в породах формации Двайка, залегающей в основании супергруппы Карру, а также ее возрастных аналогов.

Считается, что образования среднего–позднего карбона формировались в условиях широкого развития ледникового покрова. Они составляют нижнюю часть разреза позднепалеозойской синеклизы Карру и подстилают мезозойские отложения синеклизы Калахари. Содержат ИМК и алмазы, однако промышленные концентрации не образуют.

Возрастные аналоги пород формации Двайка на склонах синеклизы Конго представлены ледниковыми и водно-ледниковыми алмазоносными образованиями формации Мамбере в Центральноафриканской республике. Потенциальным коллектором являются тиллиты серии Лутое в Анголе.

Алмазы содержатся также в позднепалеозойских тиллитах формации Санта-Фе в Бразилии [10].

Несмотря на широкое развитие терригенных коллекторов позднего палеозоя на материках Гондваны, россыпи ледникового ряда в это время не формировались.

*Мезозойские коллекторы* образовались на Сибирской и Африканской платформах, в значительно меньшей степени – в пределах Восточно-Европейской алмазоносной провинции.

В Сибирской провинции мезозойские коллекторы характеризуются широким распространением. К ним относятся образования раннего триаса, ранней юры, поздней юры и позднего мела. Позднетриасовые коллекторы развиты на северо-востоке платформы. Они представлены отложениями карнийского яруса, в основании которого залегает алмазоносный горизонт (0,5 м), включающий



также широкий спектр ИМК. Сложен плохосортированными пляжевыми конгломератами, гравелистами и песчаниками.

Раннеюрские коллекторы распространены на склоне Лено-Анабарского прогиба и в пределах северо-западного борта Вилуйской синеклизы. В их составе известны находки алмазов и спектра ИМК.

На северо-западном борту Ангаро-Вилуйского прогиба, наложенного на сводовую часть Непско-Ботубинской антеклизы, в раннеюрское время в условиях ближнего и умеренного переноса в континентальных условиях сформировались полифациальные россыпи Водораздельные Галечники и Солур, подробно рассмотренные Б. М. Владимировым и др. [1], С. А. Грахановым и др. [2].

В делювиально-пролювиальных раннеюрских коллекторах Средне-Мархинского алмазоносного района заключена россыпь ближнего переноса Нюрбинская, которая по объему запасов относится к категории уникальных. Среднеюрские коллекторы алмазов развиты на северо-востоке провинции в бассейне р. Эекит. Вместе с алмазами выявлены пиропы и пикроильмениты. Алмазоносные прибрежно-морские отложения поздней юры выявлены на западном склоне Предверхоанского прогиба. Они содержат ИМК (пиропы, пикроильмениты, хромшпинелиды и хромдиопсиды) и алмазы, сходные с камнями из более древних образований.

Терригенные коллекторы раннего мела развиты на севере Сибирской провинции в бассейне р. Анабар довольно ограниченно. Они установлены только в пределах образований карстовых депрессий, которые выработаны в породах кембрия и представлены плохосортированными глинисто-алевритовыми разностями с гравием и галькой. Встречаются гипергенно измененные пиропы и пикроильмениты, а также алмазы с износом истирания, которые поступали за счет размыва более древних коллекторов.

Триасовая мелкая россыпь алмазов Сомабула известна в пределах кратона Зимбабве. Она залегает в верхней части разреза супергруппы Карру и является единственным известным россыпным проявлением Африки этого возраста.

Позднемеловые терригенные коллекторы широко представлены в Африканской провинции, где известны ореолы рассеяния ИМК и крупные россыпи алмазов на склонах синеклизы Конго. После внедрения раннемеловых кимберлитов и процессов корообразования в позднем мелу происходило образование полигенетических ореолов рассеяния ИМК континентального ряда, формировались аллювиальные и пролювиальные россыпи алмазов. Они широко представлены в составе формаций Калонда (Ангола), Кванго (Конго), Мука-Уадда и Карно-Берберати (ЦАР). Ресурсный потенциал алмазоносности только формации Калонда на южном склоне синеклизы Конго составляет около 50 млн кар.

В конце мелового времени началось образование россыпей шельфового комплекса на юго-западном побережье Африки [24] за счет размыва ким-

берлитов и терригенных коллекторов Каапвальского кратона и сопредельных территорий.

В пределах Восточно-Европейской платформы в позднем мелу образовались незначительные ореолы рассеяния ИМК, заключенные в образованиях Воронежской антеклизы [2].

*Кайнозойские коллекторы* алмазов широко представлены в пределах всех провинций. Их формирование связано с этапом активизации новейших тектонических движений. Известны ореолы рассеяния и россыпи, начиная с палеоцена (южная часть Африканской провинции), но наиболее активно они формировались в неоген-четвертичное время, когда доминировали воздымания территорий платформ, сопровождающиеся размывом коренных источников и более древних коллекторов алмазов. Среди ореолов рассеяния образуются разнообразные морфогенетические типы: от моренных до пляжевых, развитых как на суше, так и под водой на шельфе. За счет значительного денудационного среза алмазоносных пород формируются промышленные россыпи алмазов в пределах Сибирской, Африканской, Южно-Американской, Австралийской, Индийской, Восточно-Европейской провинций и их обрамления. Нельзя исключать их обнаружение на территориях Китайской и Северо-Американской провинций. Позднекайнозойские коллекторы алмазов России и мира подробно рассмотрены С. А. Грахановым с соавторами [2], В. М. Подчасовым с соавторами [10] и др.

Основные особенности коллекторов алмазов, сформированных на позднеплатформенной стадии, представляются следующими.

1. Характеризуются относительно незначительными мощностями, которые измеряются первыми сотнями метров.
2. Следы метаморфизма (за исключением контактового) отсутствуют.
3. Мощность продуктивных горизонтов не превышает, как правило, первых метров.
4. Ореолы рассеяния и россыпи формировались в разнообразных континентальных и бассейновых обстановках при резком доминировании континентальных.
5. ИМК встречаются в ореолах, сформированных за счет прямого размыва коренных источников.
6. Ореолы и россыпи, образованные за счет размыва более древних коллекторов, часто не содержат ИМК.
7. Среди алмазов встречаются камни различных размеров и кристаллографических форм.

Анализ формирования терригенных коллекторов алмазов на позднеплатформенном этапе позволяет сделать вывод, что образование ореолов ИМК и россыпей различалось во времени в пределах платформ Гондваны (Африканской, Южно-Американской и Индийской) и Лавразии (Восточно-Европейской, Сибирской). Исключение представляет неоген-четвертичный этап, обусловленный новейшими тектоническими движениями, которые проявились во всех алмазоносных провинциях.



**Выводы.** Результаты проведенного исследования подтверждают более высокие перспективы выявления месторождений алмазов, сформированных на платформенном мегаэтапе развития территорий. Поисковые работы должны быть ориентированы прежде всего на выявление позднерифейских и фанерозойских кимберлитов и лампроитов. Потенциал россыпной алмазности платформенного мегаэтапа также значительно выше, чем доплатформенного и протоплатформенного. Это объясняется не только наличием коренных источников алмазов, но и тектоническим режимом древних эпох, когда процессы аккумуляции в областях интенсивного погружения были доминирующими и не способствовали пересортировке алмазов их концентрации в терригенных коллекторах.

Многочисленность коренных источников и их площадное распространение создают благоприятные условия для формирования россыпей алмазов. На таких территориях при сохранении других благоприятных факторов формируются так называемые мегароссыпи, известные на территории Южной и Центральной Африки, на Севере Сибири.

Существует мнение, что россыпи возникают только за счет богатых коренных месторождений. Однако исследования последних лет показывают, что и за счет относительно низкоалмазоносных (0,1–0,2 кар/т) кимберлитов формируются богатые россыпи, характеризующиеся содержаниями, достигающими десятков кар/м<sup>3</sup>. Примерами являются алмазоносные поля Гвинеи и Анголы. Причина заключается в особенностях влажного тропического климата, который способствует максимальному выветриванию горных пород, что приводит к значительному (десяtkи раз) сокращению их объема и, соответственно, повышению концентраций устойчивых к химическому выветриванию минералов, в том числе и алмаза.

Образование промышленных россыпей алмазов в процессе формирования терригенных коллекторов происходит при наличии комплекса благоприятных факторов.

1. *Магматический.* Широкое развитие на площади коренных источников или промежуточных терригенных коллекторов. Содержания алмазов в кимберлитах и родственных породах могут варьировать в широких пределах: от сотых долей карата и выше.

2. *Климатический.* Глубокое химическое выветривание коренных источников в условиях гумидного климата.

3. *Геоморфологический.* Денудационный срез коренных источников и наличие благоприятных для концентрации алмазов эрозионных, карстовых, дефляционных и других форм и элементов рельефа в пределах области переходного (денудационно-аккумулятивного) развития.

4. *Тектонический.* Синхронность проявлений глобальных эвстатических изменений уровня Мирового океана (регрессивных или трансгрессив-

ных) и однонаправленных региональных тектонических движений умеренной амплитуды.

5. *Фациально-динамический.* Активные и малоактивные динамические обстановки седиментации: аллювиальные русловые, пролювиальные, делювиальные, золовые, озерные дельтовые и пляжевые.

При сочетании всех перечисленных факторов формируются магароссыпи, отличающиеся наибольшими запасами алмазов. Если отсутствуют факторы 1–3, то россыпи не образуются. Наиболее благоприятные условия для формирования промышленных месторождений алмазов в пределах древних платформ создавались в фанерозое, в мезозое и кайнозое. Долгое время самостоятельного промышленного значения докембрийские терригенные коллекторы не имели вообще, но за их счет были сформированы четвертичные россыпи, которые разрабатываются на протяжении многих десятилетий. Только в последние годы началась разведка и разработка позднепротерозойских россыпей в районе Чиманимани и Маранги в Зимбабве и алмазоносных образований «тиллитового комплекса» в Камеруне. Наиболее древние фанерозойские промышленные залежи относятся к среднему девону (такатинская свита на западном склоне Урала) и среднему карбону (лапчанская свита в Западной Якутии). Нельзя исключать значительно более широкое развитие промышленных россыпей алмазов в разрезе позднего докембрия и палеозоя.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров Б. М. Месторождения алмазов СССР. Методика поисков и разведки / Б. М. Владимиров, Ю. М. Дауев, Б. М. Зубарев и др. – М.: ЦНИГРИ, 1984. – 435 с.
2. Граханов С. А. Россыпи алмазов России / С. А. Граханов, В. И. Шаталов, В. А. Штыров, В. Р. Кычкин, А. М. Сулейманов; гл. ред. Д. А. Додин. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. – 457 с.
3. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т. Историческая минералогия: в 3 т. Т. 2. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2005. – 570 с.
4. Константиновский А. А. Палеороссыпи в эволюции осадочной оболочки континентов. – М.: Научный мир, 2000. – 288 с.
5. Короновский Н. В., Якушева А. Ф. Основы геологии. – М.: Высшая школа, 1991. – 416 с.
6. Метелкина М. П. Докембрийские алмазоносные формации мира / М. П. Метелкина, Б. И. Прокопчук, О. В. Суходольская, Е. В. Францессон. – М.: Недра, 1976. – 134 с.
7. Объяснительная записка к Государственной геологической карте Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист Р-(35)–37 – Петрозаводск / И. И. Акромовский, Б. Ю. Астафьев, А. М. Беляев и др. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2000. – 322 с.
8. Патык-Кара Н. Г. Минералогия россыпей: типы россыпных провинций. – М.: ИГЕМ РАН, 2008. – 528 с.
9. Плотникова М. И. Палеогеография междуречья Мархи и Тюнга в кайнозое в связи с историей формирования алмазоносных россыпей (Восточная Сибирь) / М. И. Плотникова, О. И. Кардопольцева, О. Г. Салтыков,

- В. Н. Уманец // Труды ВСЕГЕИ. Нов. сер. – 1963. – Т. 90. – С. 81–96.
10. Подчасов В. М. Россыпи алмазов мира / В. М. Подчасов, М. Н. Евсеев, И. Я. Богатых и др. – М. : ООО «Геоинформмарк», 2005. – 747 с.
11. Преториус Д. А. Генезис рудных месторождений: в 2 т. Т. 2 / Д. А. Преториус, Дж. М. Франклин, Дж. У. Лайдон и др.; ред. Б. Skinner. – М. : Мир, 1984. – 405 с.
12. Устинов В. Н. Терригенные коллекторы алмазов Сибирской, Восточно-Европейской и Африканской платформ. – СПб. : Наука, 2015. – 531 с.
13. Хаин В. Е., Божко Н. А. Историческая геотектоника. – М. : Недра, 1988. – 382 с.
14. Хаин В. Е., Михайлов А. Е. Общая геотектоника: учебное пособие для вузов. – М. : Недра, 1985. – 326 с.
15. Чумаков Н. М. Докембрийские тиллиты и тиллоиды (проблемы докембрийских оледенений). – М. : Наука, 1978. – 204 с.
16. Almeida-Abreu P. A., Pflug R. The geodynamic evolution of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil // *Zbl. Geol. Palmont.* – 1994. – Vol. 1/2. – Pp. 21–44.
17. Almeida-Abreu P. A., Renger F. E. Stratigraphy and facies of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil // *Z. dt. Ges. Geowiss.* – 2007. – Vol. 158/1. – Pp. 9–29.
18. Australian Stratigraphic Unit Database. – 2014.
19. Brito Neves B. B. A Evolução geocronológica da Cordilheira do Espinhaço; dados novos e integração / B. B. Brito Neves, K. Kawashita, U. G. Cordani, J. Delhal // *Rev. Bras. Geociências.* – 1979. – Vol. 9. – Pp. 71–85.
20. Bruce L. F. Diamonds in an Archean greenstone belt: a study of diamonds and host met conglomerate from Wawa (Northern Ontario) // A thesis submitted in a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Faculty of Graduate Studies (Geological Sciences). – Vancouver, 2011.
21. Caxito F. A. Marinoan glaciation in east central Brazil / F. A. Caxito, G. P. Halverson, A. Uehlein et al. // *Precambrian Research.* – 2012. – Vol. 200–203. – Pp. 35–58.
22. Chaves M. L. S. C., Karfunkel J., Addad J. Geologia da região diamantífera de Grão Mogol (MG) // *Geociências.* – 1999. – Vol. 18. – Pp. 129–155.
23. Cordani U. G. Pb-Pb, Rb-Sr, and K-Ar systematics of the Lagoa Real uranium province (south-central Bahia, Brazil) and the Espinhaço Cycle (ca. 1.5–1.0 Ga.) / U. G. Cordani, S. S. Iyer, P. N. Taylor, K. Kawashita, K. Sato, I. McReath // *J. South Am. Earth. Sci.* – 1992. – Vol. 5. – Pp. 33–46.
24. De Wit M. C. J. Post-Gondwana drainage and the development of diamond placers in Western South Africa // *Economic Geology.* – 1999. – No. 94. – Pp. 721–740.
25. Detailed information dossier on diamond in India. – Geological Survey of India, 2011. – Pp. 136.
26. Dossin T. M. Idade do Supergrupo Espinhaço: Determinação  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  pelo método de evaporação do Pb sobre monozircões de metavulcanitos sinsedimentares / T. M. Dossin, I. A. Dossin, P. Rossi, J. Charvet // 8. Simp. Geol. Minas Gerais. – Brazil, Diamantina, 1995. – Pp. 11–13.
27. Fareeduddin M., Mitchell R. H. Diamonds and their Source Rocks in India // *Geological Society of India.* – Bangalore, India, 2012. – 434 p.
28. Kopylova M. G. Kimberlite-derived harzburgitic diamonds from A>2.7 GA Southern Superior protocraton / M. G. Kopylova, C. Miller, V. P. Afanasiev et al. // *Proceeding of 10th International Kimberlite Conference.* – Bangalore, India, 2012.
29. Meijerink A. M. J., Rao D. P., Rupke J. Stratigraphic and structural development of the Precambrian Cuddapah basin, S. E. India // *Precambrian Research.* – 1984. – No. 26. – Pp. 157–171.
30. Minter W. E. L. Paleoplacer gold potential in the early Proterozoic Roraima Group / W. E. L. Minter, H. E. Frimmel, J. Kirk, T. Vennemann // *Denver Annual Meeting.* – Denver, 2002. – No. 226-13.
31. Pedrosa-Soares A. C., Cordani U. G., Nutman A. Constraining the age of Neoproterozoic glaciation in eastern Brazil: first U-Pb (SHRIMP) data of detrital zircons // *Revista Brasileira de Geociências.* – 2000. – Vol. 30. – Pp. 58–61.
32. Ryder J. Palaeoplacers: Are Archean/Proterozoic diamondiferous placers/palaeoplacers potentially new sources of diamond supply to meet the looming diamond shortage // *Presentation on Toronto Geological Discussion Group (TGDG) Meeting.* – 2012.
33. Vinogradov A. Geochronology of Indian Precambrian // *Report of 22 Intl. Geol. Congr. New Delhi.* – New Delhi, 1964. – Vol. 10. – Pp. 553–567.
34. Wendland C. Diamondiferous Mass-Flow and Traction Current Deposits in a Neoarchean fan delta, Wawa Area, Superior Province // A thesis submitted to the Department of Geology in a partial fulfillment of the requirements for the Degree Masters of Science. – 2010.
35. Wilson M. G. C., Anhaeusser C. R. The mineral resources of South Africa: Handbook, Council of Geoscience. No. 16. – Cape Town : CTP Book Printers, 1998. – 740 p.
36. Wingate M. T. D. SHRIMP baddeleyite and zircon ages for an Umkondo dolerite sill, Nyanga Mountains, Eastern Zimbabwe // *South African Journal of Geology.* – 2001. – Vol. 104. – Pp. 13–22.

## REFERENCES

- Vladimirov B. M., Dauev Yu. M., Zubarev B. M. et al. Mestorozhdeniyaalmazov SSSR. Metodika poiskov i razvedki. Moscow, TsNIGRI, 1984, 435 p.
- Grakhanov S. A., Shatalov V. I., Shtyrov V. A., Kychkin V. R., Suleymanov A. M. Rossypialmazov Rossii. Ed. by D. A. Dodin. Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo «Geo», 2007, 457 p.
- Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. Istoricheskaya minerageniya: v 3 t. Vol. 2. Voronezh, Izdatel'sko-poligraficheskiy tsentr Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta, 2005, 570 p.
- Konstantinovskiy A. A. Paleorossypi v evolyutsii osadochnoy obolochki kontinentov. Moscow, Nauchnyy mir, 2000, 288 p.
- Koronovskiy N. V., Yakusheva A. F. Osnovy geologii. Moscow, Vysshaya shkola, 1991, 416 p.
- Metelkina M. P., Prokopchuk B. I., Sukhodol'skaya O. V., Frantsesson E. V. Dokembriyskiealmazonosnye formatsii mira. Moscow, Nedra, 1976, 134 p.
- Ob'yasnitel'naya zapiska k Gosudarstvennoy geologicheskoy karte Rossiyskoy Federatsii. Mashtab 1 : 1 000 000 (novaya seriya). List R-(35)–37 – Petrozavodsk. Ed by I. I. Akromovskiy, B. Yu. Astaf'ev, A. M. Belyaev et al. St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2000, 322 p.
- Patyk-Kara N. G. Minerageniya rossypey: tipy rosspykh provintsiy. Moscow, IGE M RAN, 2008, 528 p.
- Plotnikova M. I., Kardopol'tseva O. I., Saltykov O. G., Umanets V. N. Paleogeografiya mezhdurech'ya Markhi i Tyunga v kaynozoe v svyazi s istoriey formirovaniya amazonosnykh rossypey (Vostochnaya Sibir'). *Trudy VSEGEI. Nov. ser.*, 1963, vol. 90, pp. 81–96.
- Podchasov V. M., Evseev M. N., Bogatykh I. Ya. et al. Rossypialmazov mira. Moscow, ООО «Геоинформмарк», 2005, 747 p.
- Preriorius D. A., Franklin Dzh. M., Laydon Dzh. U. et al. Genезis rudnykh mestorozhdeniy: v 2 t. Vol. 2. Ed. by B. Skinner. Moscow, Mir, 1984, 405 p.
- Ustinov V. N. Terrigenne kolektoryalmazov Sibirskey, Vostochno-Evropeyskoy i Afrikanskoy platform. St. Petersburg, Nauka, 2015, 531 p.
- Khain V. E., Bozhko N. A. Istoricheskaya geotektonika. Moscow, Nedra, 1988, 382 p.
- Khain V. E., Mikhaylov A. E. Obshchaya geotektonika: uchebnoe posobie dlya vuzov. Moscow, Nedra, 1985, 326 p.

15. Chumakov N. M. Dokembriyskie tillity i tilloidy (problemy dokembriyskikh oledeneniy. Moscow, Nauka, 1978, 204 p.
16. Almeida-Abreu P. A., Pflug R. The geodynamic evolution of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. *Zbl. Geol. Palmont*, 1994, vol. 1/2, pp. 21–44.
17. Almeida-Abreu P. A., Renger F. E. Stratigraphy and facies of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil. *Z. dt. Ges. Geowiss*, 2007, vol. 158/1, pp. 9–29.
18. Australian Stratigraphic Unit Database, 2014.
19. Brito Neves B. B., Kawashita K., Cordani U. G., Delhal J. A Evolução geocronológica da Cordilheira do Espinhaço; dados novos e integração. *Rev. Bras. Geociências*, 1979, vol. 9, pp. 71–85.
20. Bruce L. F. Diamonds in an Archean greenstone belt: a study of diamonds and host met conglomerate from Wawa (Northern Ontario). A thesis submitted in a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in the Faculty of Graduate Studies (Geological Sciences). Vancouver, 2011.
21. Caxito F. A., Halverson G. P., Uhlein A. et al. Marinoan glaciation in east central Brazil. *Precambrian Research*, 2012, vol. 200–203, pp. 35–58.
22. Chaves M. L. S. C., Karfunkel J., Addad J. Geologia da região diamantífera de Grão Mogol (MG). *Geociências*, 1999, vol. 18, pp. 129–155.
23. Cordani U. G., Iyer S. S., Taylor P. N., Kawashita K., Sato K., McReath I. Pb-Pb, Rb-Sr, and K-Ar systematics of the Lagoa Real uranium province (south-central Bahia, Brazil) and the Espinhaço Cycle (ca. 1.5–1.0 Ga.). *J. South Am. Earth. Sci.*, 1992, vol. 5, pp. 33–46.
24. De Wit M. C. J. Post-Gondwana drainage and the development of diamond placers in Western South Africa. *Economic Geology*, 1999, no. 94, pp. 721–740.
25. Detailed information dossier on diamond in India. Geological Survey of India, 2011, pp. 136.
26. Dossin T. M., Dossin I. A., Rossi P., Charvet J. Idade do Supergrupo Espinhaço: Determinação 207Pb/206Pb pelo método de evaporação do Pb sobre monozircões de metavulcanitos sinsedimentares. 8. *Simp. Geol. Minas Gerais*. Brazil, Diamantina, 1995, pp. 11–13.
27. Fareeduddin M., Mitchell R. H. Diamonds and their Source Rocks in India. Geological Society of India. Bangalore, India, 2012, 434 p.
28. Kopylova M. G., Miller C., Afanasiev V. P. et al. Kimberlite-derived harzburgitic diamonds from A>2.7 GA Southern Superior protocraton. *Proceeding of 10th International Kimberlite Conference*. Bangalore, India, 2012.
29. Meijerink A. M. J., Rao D. P., Rupke J. Stratigraphic and structural development of the Precambrian Cuddapah basin, S. E. India. *Precambrian Research*, 1984, no. 26, pp. 157–171.
30. Minter W. E. L., Frimmel H. E., Kirk J., Venne-mann T. Paleoplacer gold potential in the early Proterozoic Roraima Group. *Denver Annual Meeting*. Denver, 2002, no. 226-13.
31. Pedrosa-Soares A. C., Cordani U. G., Nutman A. Constraining the age of Neoproterozoic glaciation in eastern Brazil: first U-Pb (SHRIMP) data of detrital zircons. *Revista Brasileira de Geociências*, 2000, vol. 30, pp. 58–61.
32. Ryder J. Palaeoplacers: Are Archean/Proterozoic diamondiferous placers/palaeoplacers potentially new sources of diamond supply to meet the looming diamond shortage. *Presentation on Toronto Geological Discussion Group (TGDG) Meeting*, 2012.
33. Vinogradov A. Geochronology of Indian Precambrian. *Report of 22 Intl. Geol. Congr. New Delhi*. New Delhi, 1964, vol. 10, pp. 553–567.
34. Wendland C. Diamondiferous Mass-Flow and Trac-tion Current Deposits in a Neoproterozoic fan delta, Wawa Area, Superior Province. A thesis submitted to the Department of Geology in a partial fulfillment of the requirements for the Degree Masters of Science, 2010.
35. Wilson M. G. C., Anhaeusser C. R. The mineral resources of South Africa: Handbook, Council of Geo-science. No. 16. Cape Town, CTP Book Printers, 1998, 740 p.
36. Wingate M. T. D. SHRIMP baddeleyite and zircon ages for an Umkondo dolerite sill, Nyanga Mountains, Eastern Zimbabwe. *South African Journal of Geology*, 2001, vol. 104, pp. 13–22.

Устинов Виктор Николаевич – доктор геол.-минерал. наук, Советник ген. директора по минеральным ресурсам, Акционерное общество «АГД Даймондс» (АО «АГД Даймондс»). Троицкий пр., 168, Архангельск, Россия, 163001. <UstinovVN@agddiamonds.ru>

Ustinov Viktor Nikolaevich – DSc (Geology and Mineralogy), Advisor of General Director on Mineral Resources, Joint Stock Company «AGD Diamonds» (JSC «AGD Diamonds»). 168 Troitskiy Pr., Arkhangelsk, Russia, 163001. <UstinovVN@agddiamonds.ru>