DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10032

УДК 551.72:549.211:552.48:552.321.6:551.2/.3
© В.П.Афанасьев, Н.П.Похиленко, 2019

Докембрийская алмазоносность Сибирской платформы: признаки и масштабы

В.П.АФАНАСЬЕВ, Н.П.ПОХИЛЕНКО (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С.Соболева Сибирского отделения Российской академии наук; 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3)

На основе анализа алмазов из россыпей Сибирской платформы, а также находки рифейских алмазоносных лампроитов в Восточном Саяне делается вывод о существовании докембрийской эпохи алмазоносного магматизма. Описываются его особенности, сравниваются с проявлениями докембрийской алмазоносности в мире.
Ключевые слова: алмаз, кимберлит, некимберлитовые источники алмазов, докембрий, россыпь.

Афанасьев Валентин Петрович
доктор геолого-минералогических наук
avp-diamond@mail.ru

Похиленко Николай Петрович
академик РАН
chief@igm.nsc.ru

Precambrian Diamond Potential of the Siberian Craton: Signatures and Extent

V.P.AFANASIEV, N.P.POKHILENKO (Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian ranch Russian Academy of Sciences)

The existence of Precambrian diamondiferous magmatism is inferred from studies of placer diamonds in the Siberian craton, as well as from findings of Riphean diamond-bearing lamproites in the East Sayan. Precambrian diamond sources are discussed in terms of their features and are compared with their counterparts known from different diamond provinces worldwide.
Key words: diamond, kimberlite, non-kimberlitic diamond source, Precambrian, placer.

Проявления докембрийской алмазоносности установлены во многих регионах мира [11, 39, 43, 44 и др.]. При этом количество известных коренных источников алмазов докембрийского возраста достаточно ограничено [38]. Это связано главным образом с перекрытием древних коренных алмазоносных пород более молодыми осадками, а также с весьма значительной изменённостью потенциально алмазоносных древних магматических пород, большой величиной эрозионного среза, необычным составом пород и др. Более широко представлены докембрийские россыпи [11, 39, 43, 44 и др.]. Однако необходимо учитывать, что после размыва этих россыпей алмазы могут попадать в более молодые осадки разного возраста вплоть до современных. Поэтому в настоящее время провести объективную оценку масштабов докембрийской алмазоносности невозможно.

Общие проблемы докембрийской алмазоносности впервые специально были рассмотрены М.П.Метелкиной с соавторами [11]. В своей книге они описали известные коренные источники и россыпи алмазов Южной Америки, Африки, Индии, структурную позицию каждой провинции, состав и строение алмазоносных формаций, минералогические особенности алмазов и на этой основе разработали комплекс «признаков древности» алмазов, наличие которых свидетельствует о происхождении алмазов из докембрийских источников. Опираясь на него, М.П.Метелкина и её соавторы в своей книге попытались проанализировать возможность докембрийской алмазоносности Сибирской платформы, а годом ранее вышла статья этих авторов, специально посвящённая данному вопросу [15].

Наряду с очевидными достоинствами данный комплекс «признаков древности» обладает и недостатками. Например, в первую очередь он характеризует алмазы из древних россыпей и лишь в малой мере касается их коренных источников. Некоторые признаки присущи алмазам не только из докембрийских, но и фанерозойских россыпей, в частности, зелёные пятна пигментаци, ожелезнение, механический износ. В отношении последнего можно лишь отметить, что в россыпях, связанных с фанерозойскими источниками,

отсутствуют предельно окатанные (полностью овализованные) алмазы, характерные для докембрийских россыпей [46]. В результате при изучении алмазов из молодых россыпей, в которых могут быть смешаны алмазы из фанерозойских и докембрийских источников, не всегда удаётся надёжно выделить последние. Тем не менее в ряде случаев при яркой выраженности «признаков древности» можно достаточно определённо обосновать происхождение алмазов из докембрийских источников. Необходимо заметить, что М.П.Метелкина и её соавторы отмечают определяющую роль выступов докембрийского фундамента на платформах в распределении алмазов с «признаками древности».

Вместе с тем работы авторов данной статьи по различным аспектам проблемы происхождения богатых россыпей алмазов на северо-востоке Сибирской платформы привели к осознанию ограниченности данного комплекса «признаков древности». Использование классификации Ю.Л.Орлова при описании алмазов позволило выделить в этих россыпях группы алмазов, полностью отсутствующие в фанерозойских кимберлитах (V+VII разновидности) или содержащиеся в них в несопоставимо меньших количествах, чем в россыпях (II разновидность, скрытоламинарные ромбододекаэдроиды I разновидности) [8, 32, 33]. Это обстоятельство, а также ряд необычных минералогических особенностей данных разновидностей алмазов, тяготение максимумов их распределения в россыпях к выступам докембрийского фундамента (Анабарский щит, Оленёкское, Уджинское поднятия) позволили авторам данной статьи предположить поступление данных алмазов из размытых в пределах поднятий протерозойских прибрежно-морских отложений [8, 32, 33]. Среди перечисленных разновидностей алмазов из россыпей северо-востока Сибирской платформы лишь скрытоламинарные ромбододекаэдроиды I разновидности полностью вписываются в комплекс «признаков древности» [11]. Своеобразие минералогических особенностей потенциально докембрийских алмазов по сравнению с алмазами из фанерозойских кимберлитов (лёгкий изотопный состав алмазов V, VII и облегчённый – II разновидностей, преобладание алмазов эклогитовых парагенезисов среди скрытоламинарных ромбододекаэдроидов– 58% [55] и др.) позволяет предположить специфический характер докембрийской алмазоносности, связанный с источниками углерода для формирования алмазов, условиями роста, типами пород-транспортёров, масштабами алмазоносности. Наряду с лампроитами, возможно являющимися источниками округлых ромбододекаэдроидов, на северо-востоке Сибирской платформы предполагается существование пока неизвестных типов источников для алмазов V, VII и II разновидностей [8, 32].

Авторы данной статьи полагают, что к настоящему времени сформировались концептуальный и феноменологический базисы для оценки перспектив докембрийской алмазоносности Сибирской платформы на новом уровне с учётом последних данных по минералогии алмазов и особенностям алмазоносности данного региона, а также с учётом таких данных по другим алмазоносным регионам. Этой проблеме и посвящена настоящая работа.

Признаки докембрийской алмазоносности. До настоящего времени на Сибирской платформе алмазы известны в фанерозойских кимберлитах и россыпях. Однако существует ряд предпосылок широкого развития в её пределах докембрийской алмазоносности.

Россыпные признаки докембрийской алмазоносности представлены наиболее широко. Прямые предпосылки могли бы основываться на находках алмазов в докембрийских отложениях, однако до сих пор достоверных находок алмазов непосредственно в этих отложениях не известно, что осложняет обоснование докембрийской алмазоносности. Также необходимо учитывать, что никто не ставил задачу специального опробования этих отложений, в частности вендских прибрежно-морских, на обнаружение алмазов. Косвенные предпосылки основываются, с одной стороны, на выделении в фанерозойских россыпях алмазов, не идентифицируемых с фанерозойскими кимберлитами, с другой, на специфичности минералогических особенностей выделенных групп алмазов и их геологической позиции, которые наиболее убедительно объясняются предположением о докембрийском возрасте коренных источников этих алмазов.

К основным россыпным предпосылкам докембрийской алмазоносности Сибирской платформы следует отнести:

1. В россыпях Сибирской платформы, особенно её северо-восточной части, присутствует большое количество алмазов, либо совершенно отсутствующих в фанерозойских кимберлитах платформы (V+VII разновидностей, по классификации Ю.Л.Орлова), либо содержащихся в несопоставимо меньших количествах (II разновидность, скрытоламинарные ромбододекаэдроиды с «признаками древности» I разновидности) [4, 22, 25, 26].

Алмазы V+VII разновидностей (высокодефектные кристаллы и сростки ромбододекаэдрического или переходного от октаэдрического к ромбододекаэдрическому габитуса, переполненные чёрными хлопьевидными включениями графита) отсутствуют в кимберлитах Сибирской платформы [5, 25, 26]. В то же время в богатейшей россыпи р. Эбелях Анабарского района [33, 21] их доля достигает 50% (см. таблицу). Алмазы этой разновидности (рис. 1) были детально изучены [5].

В результате установлено, что алмазы принадлежат к одному генетическому типу с весьма специфическим комплексом минералогических особенностей, к которым относятся: лёгкий изотопный состав углерода ($\delta^{13}C$ от –19 до –25‰); высокая примесь азота в форме А (до 630 ppm), обусловливающая практически полное туше-

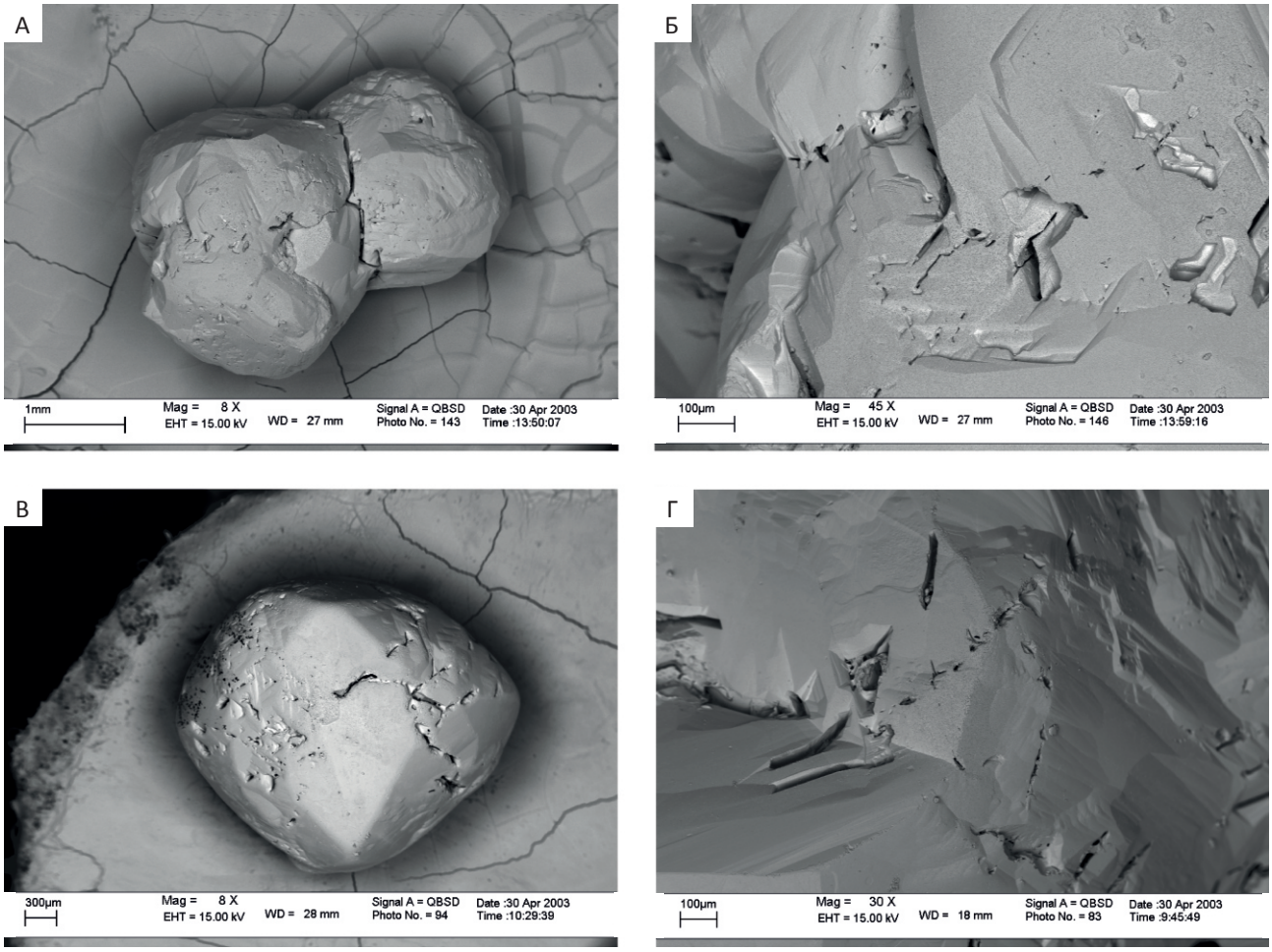


Рис. 1. Разновидности алмазов. *По классификации Ю.Л.Орлова*:

алмазы: А, Б – VII и В, Г – V разновидностей

ние рентгено-, фото-, катодолюминесценции; редкая встречаемость твёрдых минеральных включений при обилии флюидных, представленных азотом, углекислотой, углеводородами; радиально-лучистое строение (сферокристаллы) с крайне дефектной структурой и признаками полигонизации и рекристаллизации; блоковое строение кристаллов V разновидности с постепенными переходами к поликристаллам VII разновидности; признаки магматического растворения, обусловливающего появление искривлённых поверхностей на месте рёбер исходных октаэдров и изменение габитуса от октаэдрического через переходный до ромбододекаэдрического; изобилие шрамов магматического растворения по трещинам и зонам напряжений; аномально низкая плотность 3,500–3,508 г/см^3 против 3,515 г/см^3 у качественных алмазов; меньшей плотностью обладают только карбонадо, а также ряд других особенностей. Исходя из лёгкого изотопного состава углерода, а также минеральных включений – рутил [6], коэсит [10] – парагенетическую принадлежность данных алмазов можно оценить как эклогитовую.

Необходимо отметить, что алмазы, морфологически похожие на алмазы V разновидности, встречаются в кимберлитах, например, Архангельской алмазоносной провинции [17]. Однако результаты изучения алмазов так называемой «V» разновидности из трубки Карпинского указывают на иные алмазы, отличающиеся по изотопному составу, характеру кристаллического строения, составу флюидов и другим признакам [30]. К сожалению, одних только физиографических признаков, на которые опирается классификация Ю.Л.Орлова, недостаточно для идентификации алмазов, поэтому данный вопрос подробно рассмотрен в работе [4].

Алмазы II разновидности (по классификации Ю.Л.Орлова) также выделены на основе материалов изучения северных россыпей. К этой разновидности отнесены

все жёлтые алмазы – как кубоиды, так и додекаэдроиды. Последние рассматриваются как продукты магматического растворения кубоидов (рис. 2). При этом жёлтые алмазы из кимберлитов также относят ко II разновидности. Исследования показывают, что данная разновидность полигенна, кубоиды отличаются от додекаэдроидов по характеру внутреннего строения, что хорошо видно на картинах катодолюминесценции. Однако кубоиды этой разновидности из россыпей однотипны и отличаются от жёлтых кубоидов из кимберлитов, в частности по изотопии углерода, что также указывает на происхождение первых из источников некимберлитового типа.

Скрытоламинарные ромбододекаэдроиды алмазов (округлые алмазы) относятся к I разновидности, наименее удачно выделенной Ю.Л.Орловым из-за её очевидной полигенности [4, 22]. Группу скрытоламинарных ромбододекаэдроидов как специфическую группу алмазов в рамках I разновидности в северных россыпях выделил В.И.Коптиль [21]. Их называют также алмазами «бразильского», «индийского», «тунгуского», «уральского» типов, что подчёркивает широкую распространённость. В северных россыпях их доля сильно колеблется и может достигать 40% (см. таблицу), тогда как в кимберлитах Сибирской платформы не превышает 10–15% [21]. Для этих кристаллов характерно большинство из указанных выше «признаков древности», и именно эту группу алмазов М.П.Метелкина и её соавторы [11] отнесли к продуктам докембрийского алмазоносного магматизма. К их специфическим особенностям, помимо морфологии, следует отнести высокую долю изотопически лёгких алмазов и различную парагенетическую принадлежность (ультраосновные и эклогитовые парагенезисы) при повышенной доле алмазов эклогитовых парагенезисов (58% для северных россыпей, по данным Н.В.Соболева с соавторами).

Для алмазов V+VII, II разновидностей и скрытоламинарных ромбододекаэдроидов в россыпях не установлены минералы-спутники, с которыми эти алмазы ассоциировали в коренных источниках. Минералы-индикаторы кимберлитов, сопровождающие их в северных россыпях, происходят из фанерозойских кимберлитов и для данных алмазов являются лишь гидравлическими спутниками. Алмазы имеют независимое от кимберлитовых минералов распределение и могут встречаться самостоятельно [32].

2. Тяготение максимумов распределения алмазов V+VII, II разновидностей, скрытоламинарных ромбододекаэдроидов I разновидности к выступам докембрийского фундамента платформы [24, 32]. На данный признак как один из важнейших в обосновании происхождения алмазов из докембрийских источников указано в работе [11], но это, как отмечено выше, касалось преимущественно округлых алмазов с «признаками древности». Алмазы V+VII, II разновидностей также распространены вблизи выступов докембрия на северо-

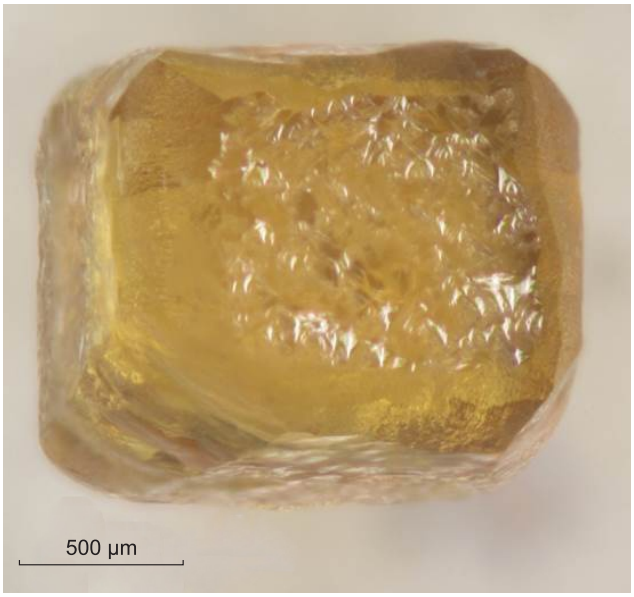


Рис. 2. Алмаз II разновидности. *По классификации Ю.Л.Орлова*

востоке Сибирской платформы – Анабарского щита, Оленёкского, Уджинского поднятий. Но в отношении этих групп алмазов существует альтернативная точка зрения, в соответствии с которой они происходят из неизвестных источников триасового возраста, расположенных в районе нижнего течения р. Лена. Эта точка зрения отражена в работах С.А.Граханова [14, 27 и др.], который обосновывает её тем, что алмазы V+VII, II разновидностей появляются в россыпях только начиная с триаса (прибрежно-морские отложения карнийского яруса позднего триаса в Нижне-Ленском районе) и отсутствуют в более древних отложениях, например в раннекарбоновых прибрежно-морских гравелитах Кютюнгдинского грабена. Та же точка зрения отстаивается в работе Ю.К.Голубева с соавторами, в которой он полагает источником алмазов «эбеляхского» типа, то есть тех, которые авторы статьи относят к докембрийским, триасовые кимберлиты, найденные, по прогнозу авторов статьи, на северном склоне Оленёкского поднятия [12]. Авторами данной статьи этот факт трактуется иначе – именно с начала мезозоя северо-восточная часть Сибирской платформы стала активно воздыматься, и в пределах Анабарской антеклизы, Уджинского и Оленёкского поднятий вовлеклись в размыв присутствующие на этих территориях протерозойские прибрежно-морские отложения, которые, наиболее вероятно, и явились источниками алмазов в мезозойские и более молодые россыпи. Соответственно, коренные источники данных алмазов имеют докембрийский возраст. Эта трактовка, по мнению авторов, более убедительна, поскольку подтверждена и другими фактами,

Распространённость алмазов основных разновидностей, по классификации Ю.Л.Орлова, в россыпях северо-востока Сибирской платформы. *По [21], с дополнениями авторов*

Площадь россыпной алмазоносности	Разновидности алмазов			
	I(о-р)	I(р)	II	V+ VII
1. Эбеляхская	10 3	30 30	5 12	55 33
2. Куонамская	25 10	55 25	10 26	10 30
3. Силигиркянская	11 –	28 20	50 44	11 50
4. Сопкинская	25 –	64 –	3 25	8 25
5. Муно-Моторчунская	22 –	63 3	4 25	11 33
6. Хахчанская	22 2	68 3	4 12	6 8
7. Молодо-Далдынская	42 2	46 2	4 –	8 2
8. Беенчиме-Куойкская	21 2	47 3	2 –	30 4
9. Нижне-Ленская	12 –	38 –	1 –	49 –
10. Келимярская	25 –	35 –	5 7	35 4

Примечание. I(о-р) – I разновидность (ламинарные кристаллы ряда октаэдр-ромбододекаэдроид), близкие по своим особенностям к алмазам известных кимберлитовых тел; I(р)I разновидность (округлые скрытоламинарные додекаэдроиды «уральского» или «бразильского» типов, практически отсутствующие в известных кимберлитовых телах); II – жёлто-оранжевые кубоиды; V+VII – комбинированные многогранники ряда октаэдр–ромбододекаэдр V разновидности и поликристаллические сростки VII разновидности; в числителе – доля (в %) кристаллов данной разновидности в общем комплексе алмазов, в знаменателе – доля (в %) окатанных кристаллов от общего числа алмазов данной разновидности.

изложенными как в предыдущих публикациях [3, 5, 8, 24, 33], так и в данной работе. Округлые алмазы с «признаками древности» широко распространены по всей Сибирской платформе, в том числе в Красноярском крае (Тычанский район), Иркутской области. Их повышенные концентрации в ряде случаев располагаются вне видимой связи с выступами докембрия, экспонированными в настоящее время на дневной поверхности и не отражёнными, соответственно, на геологической карте [24]. Существует ряд выступов докембрия, незначительно перекрытых молодыми осадками. В мезозое и кайнозое эти выступы также могли служить поставщиками алмазов в россыпи. Так, округлые алмазы бассейна среднего течения р. Вилюй [24, 33] можно связать с Сунтарским выступом. Большое количество округлых алмазов с «признаками древности» в россыпях среднего течения р. Молодо корреспондирует с наличием здесь погребённого Нижне-Ленского выступа, существование которого обосновывается в работе [20]. Округлые алмазы встречаются и вне современных пределов платформы, в частности в складчатых областях Верхоянья (Алах-Юньская золотоносная россыпь). Здесь в зоне мезозойской складчатости выведены на поверхность отложения юдомской свиты венда, которые, по-видимому, и являются поставщиками алмазов в современные отложения. Это позволяет расширить применимость признака тяготения докембрийских алмазов к выступам докембрия на платформе, дополнив его выходами докембрия в складчатых областях, сформированных на платформенном основании [10, 17].

3. Исследования авторов подтверждают «признак древности» [27], связанный с повышенным механическим износом докембрийских алмазов. Однако специальное исследование позволило расширить и уточнить представления о нём [45]. Прежде всего, необходимо отметить, что диапазон степени механического износа докембрийских и потенциально докембрийских алмазов из россыпей очень широк – от практически полного отсутствия (не фиксируется визуально) до полной овализации (уничтожение огранки и приобретение алмазом овальной формы). Последнее особенно характерно для высокодефектных алмазов V+VII разновидностей из россыпей Анабарского района (см. таблицу

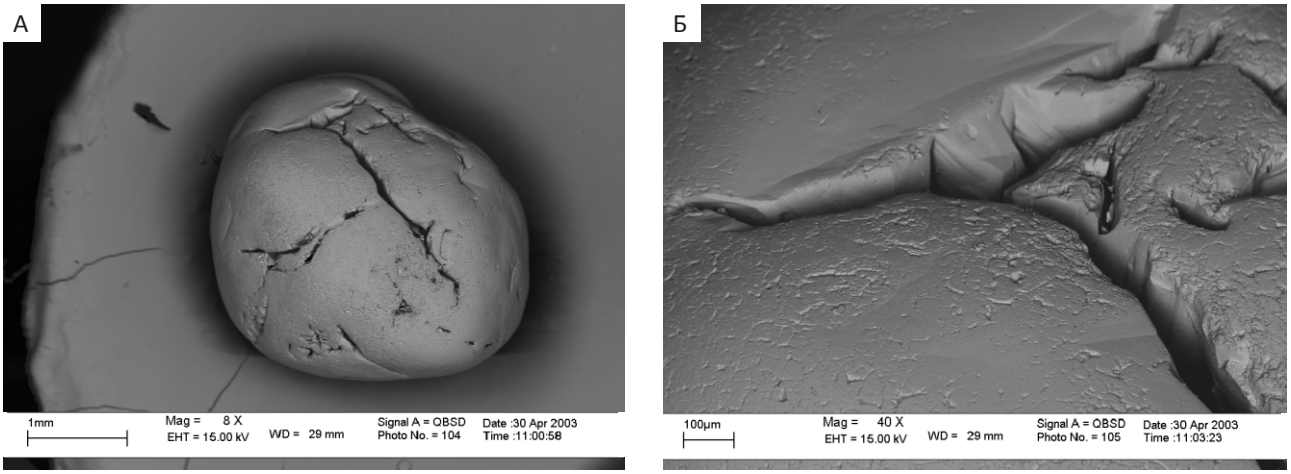


Рис. 3. Предельно окатанный алмаз V разновидности. *По классификации Ю.Л.Орлова*:

А – общий вид; Б – детали рельефа

и рис. 3). В то же время такие алмазы из триасового коллектора в Нижне-Ленском районе изношены слабо [37]. Причины наблюдаемых вариаций степени износа алмазов, по-видимому, связаны с различиями условий докембрийского россыпеобразования. Большинство проявлений докембрийской россыпной алмазоносности связаны с прибрежно-морскими обстановками. По исследованиям авторов, именно в прибрежно-морских обстановках алмазы могут приобретать заметные признаки износа [2, 7, 16, 23, 31, 46]. Степень износа алмазов при прочих равных условиях зависит от характера ложа бассейна и абразивной среды, энергетики береговой зоны, длительности пребывания алмазов в условиях волноприбойной зоны. Различия этих факторов обеспечивают широкие вариации степени механического износа. Длительная обработка алмазов в высокоэнергетической прибрежно-морской обстановке трансгрессирующего бассейна на жёстком ложе докембрийских метаморфических пород могла обеспечить высокую степень износа алмазов V+VII разновидностей в Анабарском районе (см. рис. 3). Здесь необходимо предостеречь от представления, что высокая дефектность алмазов определяет их низкую устойчивость при механической обработке в процессе формирования россыпей. Алмазы V+VII разновидностей имеют радиально-лучистое, спутанно-волокнистое балласовое строение, что хорошо видно на лауэграммах и рентгеновских топограммах по методу Ланга. В соответствии с правилом Холла-Петча, это обеспечивает им высокую абразивную устойчивость, в которой легко убедиться при шлифовке алмазов V+VII разновидностей: они несравненно более устойчивы, чем обычные монокристальные алмазы с совершенной структурой. Поэтому максимальная окатанность этих алмазов в россыпях свидетельствует в первую очередь об их значительно более длинной седиментологической истории, то есть они являются наиболее древними в общем комплексе потенциально докембрийских алмазов. В настоящее время авторы статьи проводят в этом направлении специальные исследования.

Причины слабого износа этих алмазов в триасовых отложениях Нижне-Ленского района, в которые они, вероятно, поступали при размыве докембрийских отложений Оленёкского поднятия, следует искать в разнообразных фациальных обстановках докембрийского осадконакопления на данной территории, представляющей собой северную оконечность крупной положительной структуры вдоль Ленского фрагмента Предверхоянского краевого прогиба [20].

Механический износ наблюдается и на алмазах прибрежно-морских россыпей (в первичном состоянии или переотложенных), сформированных за счёт размыва фанерозойских кимберлитов. Например, россыпь в раннекарбоновых гравелитах Кютюнгдинского прогиба, россыпь Восточная (Мало-Ботуобинский район), россыпь Дьукуннахская (верховья р. Аламджа, притока р. Вилюй), россыпь Тарыдакская, Красноярский край и др. Однако износ никогда не достигает высокой степени, характерной для докембрийских россыпей. Для Сибирской платформы это связано, в частности, с развитием россыпей на мягком ложе нижнепалеозойских терригенно-карбонатных пород. Высокая степень износа алмазов несопоставима с фанерозойскими условиями формирования россыпей на Сибирской платформе.

Существуют две основные, различающиеся между собой формы механического износа алмазов: 1 – обра-

зование шероховатых механогенных поверхностей и рельефа выкрашивания и 2 – механогенная полировка, так называемые «леденцовые скульптуры» [22, 46]. Шероховатые поверхности и рельеф выкрашивания развиваются преимущественно при наличии высокодинамичной жёсткой абразивной среды, тогда как для формирования «леденцовых скульптур» благоприятны более «мягкие» условия [31, 34, 46]. Обе формы механического износа присущи алмазам и из докембрийских, и из фанерозойских россыпей. Однако докембрийский износ, даже в случае невысокой степени его развития, сопоставимой с износом в фанерозойских условиях, часто проявляется в косвенных признаках (рис. 4), отражённых в комплексе «признаков древности» – серпообразные, кольцевые трещины на поверхности кристаллов, ромбическая сеточка поверхностных микротрещин по спайности [22]. Данные морфологические признаки обусловлены соударениями алмазов с твёрдым субстратом или частицами абразивной среды, в результате чего в поверхностном слое кристалла накапливаются упругие напряжения. Их релаксация в форме поверхностных микротрещин осуществляется под действием термических и физико-химических экзогенных факторов и требует для своей реализации длительного времени. Фактор времени, выражающийся через длительность пребывания алмазов в различных агрессивных средах, обусловливает поверхностное растрескивание у алмазов из докембрийских источников, прошедших через докембрийские россыпи, и его отсутствие при прочих равных условиях у алмазов из фанерозойских россыпей, попавших в эти россыпи из коренных источников фанерозойского возраста.

Серпообразные, кольцевые трещинки, ромбическая сеточка трещин характерны для округлых алмазов I разновидности, но отсутствуют у алмазов V+VII разновидностей в связи с их высокой собственной дефектностью, на фоне которой теряются поверхностные напряжения механогенного характера.

Таким образом, признаки механического износа характерны для алмазов и из докембрийских, и из фанерозойских источников, но только у алмазов из докембрийских источников он может достигать средней и высокой степени. При заметных признаках износа докембрийских алмазов сопровождающие их индикаторные минералы уничтожаются полностью [23, 32, 46], а те глубинные минералы, с которыми эти алмазы ассоциируют в россыпях, происходят из фанерозойских кимберлитов и являются гидравлическими спутниками.

Таковы основные признаки россыпной докембрийской алмазоносности. Их комплекс достаточно убедительно свидетельствует о реальности данной гипотезы.

Признаки коренной докембрийской алмазоносности. В начале 1960-х годов при проведении поисковых работ на алмазы на юге Иркутской области были обнаружены жильные тела оливин-флогопитовых пород, диагностированных как слюдяные кимберлиты.

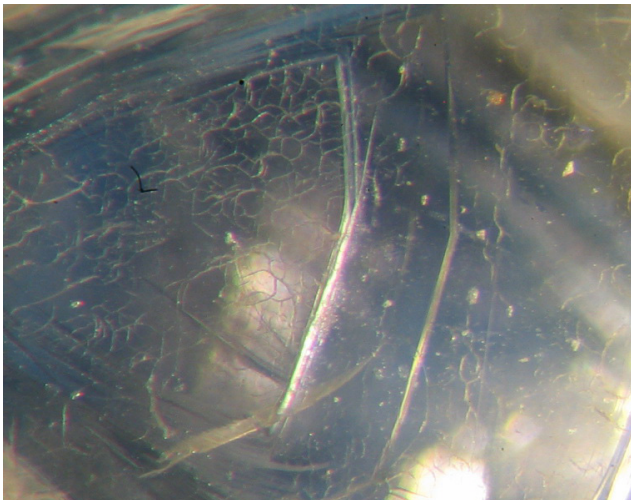


Рис. 4. Сеточка поверхностных микротрещин – следов удара на алмазе из Шелеховской россыпи (Восточный Саян)

В настоящее время в Присаянье известно девять жильных тел подобного состава [29, 35, 36], формирующих Ингашинское поле (бассейн р. Ингаши, левый приток р. Ока). Жилы прорывают и фенитизируют метаморфизованные в зеленосланцевой фации песчано-сланцевые отложения урикской и ингашинской свит раннего протерозоя и являются кососекущими по отношению к структурам вмещающих пород. Прослеженная длина жил достигает 850 м при мощности от первых сантиметров до одного метра. Возраст этих пород, определённый рубидий-стронциевым изохронным методом, составляет 1268±12 млн. лет [10]; близкие цифры (1100−1200 млн. лет) получены калий-аргоновым методом (С.Б.Брандт, ИЗК, г. Иркутск). По данным [29, 35], среди рудных минералов данных пород преобладают хромшпинелиды. Исследования состава и морфологии нескольких кристаллов хромшпинелидов из описываемых пород показали, что это типичные «мантийные», аналогичные хромшпинелидам из кимберлитов и лампроитов [3, 23]. Большинство гранатов ингашинских пород составляют альмандин-пиропы, характерные для эклогитов (75% от общего количества). Около 25% относятся к хромистым пиропам лерцолитового парагенезиса; гранатов алмазного парагенезиса не обнаружено [40, 41]. Отсутствуют пикроильмениты, соответствующие кимберлитовым. Изученные ильмениты этих пород содержат повышенное количество марганца (MnO до 4 вес.%). Породы содержат также оливины, клино- и ортопироксены. При обогащении этих пород найдено несколько алмазов преимущественно ромбододекаэдрического габитуса весом 1–9 мг [1]. Анализ геолого-структурной позиции (расположение в зоне интракратонного мобильного пояса), минералогии, петро- и

геохимических особенностей этих пород дали основание А.П.Секерину с соавторами [35, 36] отнести их к породам лампроитовой серии.

Наличие алмазоносных лампроитов рифейского возраста, содержащих алмазы ромбододекаэдрического габитуса, характерные для докембрийских источников, является прямым свидетельством существования докембрийской эпохи алмазоносности на Сибирской платформе.

Все алмазы, которые авторы относят к потенциально докембрийским, обладают признаками магматического растворения, что указывает на магматический тип источника этих алмазов.

Обсуждение признаков докембрийской алмазоносности. На основе исследований алмазов из северных россыпей можно предположить их происхождение из разных типов коренных источников, в том числе некимберлитовых. Как отмечено выше, алмазы V+VII разновидностей являются моногенными, их материнские породы имели эклогитовый состав. Независимость распределения данных алмазов в россыпях от других разновидностей алмазов [32] свидетельствует о том, что их коренные источники содержали только эту разновидность алмазов. Такое явление не характерно для киберлитов/лампроитов, которые содержат полигенные комплексы алмазов, различающиеся по парагенезисам, изотопии углерода, условиям роста и эпигенеза алмазов и др. Данное обстоятельство наряду с отсутствием алмазов V+VII разновидностей в фанерозойских кимберлитах Сибирской платформы послужило основанием для выделения неизвестного типа коренных источников предположительно докембрийского возраста для алмазов данной разновидности. То же касается алмазов II разновидности, для которой можно также предположить источники неизвестного, но иного, чем для V+VII разновидностей, типа.

Скрытоламинарные ромбододекаэдроиды I разновидности в малом количестве встречаются в фанерозойских кимберлитах, однако они характерны для некоторых протерозойских лампроитовых тел, например для трубки Маджгаван в Индии. Учитывая широкую распространённость округлых ромбододекаэдроидов в индийских протерозойских россыпях, можно предположить большое количество лампроитов подобного типа в этом регионе. Возможно, округлые алмазы из россыпей Сибирской платформы также происходят из пород данного типа, но протерозойского возраста, так как до сих пор в пределах платформы не найдены фанерозойские кимберлиты, способные обеспечить высокую долю этих алмазов в россыпях.

Таким образом, есть основания предполагать для докембрийской эпохи алмазоносности Сибирской платформы следующие типы коренных источников алмазов.

1. Лампроиты с характерными для этих пород минералогическими, петрохимическими и другими признаками, содержащие полигенную смесь алмазов с переменным соотношением изотопически «тяжёлых» и «лёгких» кристаллов по сравнению с фанерозойскими кимберлитами, увеличенное содержание скрытоламинарных ромбододекаэдроидов и повышенная доля среди них алмазов эклогитовых парагенезисов. Эти породы были источниками округлых алмазов в россыпях Сибирской платформы. Лампроиты Ингашинского поля являются представителями данного типа докембрийских источников алмазов. Однако необходимо учитывать, что протерозойская лампроитовая трубка Аргайл (Австралия) содержит алмазы морфологического ряда «октаэдр–переходная форма–ромбододекаэдроид» с преобладанием переходных форм и ламинарных додекаэдроидов [50], которые обычны в фанерозойских кимберлитах, в том числе Сибирской платформы. Поэтому, ограничивая морфологический спектр алмазов из докембрийских лампроитов на Сибирской платформе только округлыми додекаэдроидами, можно, вероятно, сузить его. Не исключено, что докембрийские источники могли содержать и октаэдрические алмазы. При идентификации алмазов из докембрийских источников необходимо учитывать весь комплекс «признаков древности».

2. Неизвестные типы источников, несущие моногенные комплексы алмазов (V+VII, II разновидностей). В соответствии с облегчённым или лёгким составом углерода парагенетическую принадлежность этих алмазов можно определить как эклогитовую. Характер породы-транспортёра алмазов предположить затруднительно, так как минералы-индикаторы этих пород могли быть уничтожены полностью в процессах докембрийского прибрежно-морского россыпеобразования и последующих физико-химических изменений. Источников, точнее типов источников алмазов должно быть несколько, не меньше двух, поскольку по меньшей мере два независимых типа источников должны были обеспечить вынос на земную поверхность алмазов V, VII и II разновидностей, об этом свидетельствуют и коэффициенты корреляции, отражающие степень их связи в россыпях (II–(V+VII):+0,05; округлые – (V+VII):–0,55).

Наряду с общей закономерностью тяготения потенциально докембрийских алмазов к выходам докембрия в распределении их разновидностей наблюдаются значительные различия [32]. Алмазы V+VII, II разновидностей распространены только в россыпях северо-востока Сибирской платформы. В южных румбах их доля быстро уменьшается, и к югу от р. Муна они практически отсутствуют. Также отсутствуют они и на территории Красноярского края, Иркутской области. Алмазы, подобные V и VII разновидностям, не описаны для других алмазоносных регионов мира. Это позволяет предположить их эндемичность для северо-востока Сибирской платформы. II разновидность, вероятно, также эндемична для данной территории.

В то же время скрытоламинарные ромбододекаэдроиды распространены в качестве минералогического фона по всей Сибирской платформе, они характерны также для россыпей большинства алмазоносных регионов мира. По-видимому, специфика потенциально докембрийских алмазов V+VII, II разновидностей и их коренных источников находит отражение и в локальности их распределения. Напротив, скрытоламинарные ромбододекаэдроиды связаны, вероятно, с широко распространёнными породами типа лампроитов.

Эндемичность характерна не только для алмазов V+VII разновидностей Сибирской платформы. Эндемичными являются карбонадо из неизвестных источников докембрийского возраста, развитые в Центральной Африке и Бразилии [15, 43, 44, 56]. В настоящее время эти территории разделены Атлантическим океаном, хотя в рамках Гондваны и занимали единую площадь.

Анализ предпосылок докембрийской алмазоносности Сибирской платформы по сравнению с фанерозойской позволяет выделить ряд её специфических черт:

1) разнообразие возможных типов коренных источников алмазов (кимберлиты/лампроиты, экзотические источники, вероятно нескольких типов), тогда как в фанерозое – только кимберлиты;

2) повышенная (для лампроитов) или абсолютная (для неизвестных источников, в частности для источников алмазов V+VII, II разновидностей) доля алмазов эклогитовых парагенезисов, тогда как в фанерозойских кимберлитах резко доминируют алмазы ультраосновных парагенезисов [28], и лишь мезозойская трубка Дьянга содержит повышенное количество алмазов эклогитовых парагенезисов при типичном для кимберлитов морфологическом спектре алмазов [55];

3) повышенная до абсолютной доля изотопически лёгких алмазов в некоторых типах источников, отнесённых главным образом к категории неизвестных типов, тогда как в фанерозойских кимберлитах платформы резко преобладают алмазы с более тяжёлым, мантийным составом изотопов углерода;

4) моногенный и весьма специфический комплекс алмазов из некоторых, отнесённых к категории неизвестных типов источников, а также повышенная, возможно преобладающая, доля округлых алмазов в источниках типа лампроитов; в то же время фанерозойские кимберлиты несут полигенную смесь алмазов с преобладанием кристаллов октаэдрического и переходного габитусов с ламинарным строением граней.

Таким образом, специфика докембрийской алмазоносности в понимании авторов данной статьи выглядит значительно шире и разнообразнее, чем это было представлено в работе [11].

Описанные особенности потенциально докембрийской алмазоносности Сибирской платформы в сравнении с фанерозойской соответствуют в общих чертах особенностям докембрийской (преимущественно протерозойской) алмазоносности других регионов мира. Так, для докембрия характерно разнообразие типов коренных источников.

В Бразилии уже давно известны алмазоносные филлиты, распространённые в штате Минас-Жерайс на площади Диамантина [18, 38, 43, 44, 53 и др.].

На северо-востоке Канады обнаружены алмазоносные лампрофиры [45]. Возраст пород составляет 1832± 28 млн. лет.

Во Французской Гвиане обнаружены докембрийские алмазоносные вулканокластические коматииты [48].

Необычное сочетание ультраосновной породы-транспортёра (кимберлит) и эклогитовых алмазов [57] свойственно для района Гуаньямо (Венесуэла, Гвианский щит). Возраст кимберлитов оценён в 710 млн. лет. В них, а также в сформированных за их счёт аллювиальных россыпях содержатся алмазы октаэдрического, додекаэдрического и переходного между ними габитуса. По результатам изучения минеральных включений установлено, что доля алмазов эклогитовых парагенезисов составляет 99,4%. Исследования изотопного состава алмазов этих месторождений показывают, что 79% изученных образцов имеют облегчённый изотопный состав углерода с $\delta^{13}C$ от –10 до –22‰ [52].

В южно-африканской кимберлитовой трубке Премьер (возраст 1250 млн. лет), из которой происходит знаменитый алмаз «Куллинан», алмазы эклогитового типа составляют 60% от общего количества кристаллов с включениями [47, 49].

В докембрийской лампроитовой трубке Аргайл (Западная Австралия), имеющей возраст 1150 млн. лет [50, 54], также резко доминируют алмазы эклогитового типа парагенезиса (93%), этому соответствует облегчённый изотопный состав углерода алмазов. Среднее $\delta^{13}C$ по 35 анализам составляет –11,7‰ при диапазоне колебаний от –7,63 до –18,68‰ [42].

Иной комплекс алмазов содержится в протерозойской лампроитовой трубке Маджгаван (Индия, штат Мадхья-Прадеш, округ Панна), возраст которой составляет 1067±31 млн. лет [51]. В ней преобладают округлые додекаэдроиды, часто с полосами пластической деформации и шагреневым рельефом, по морфологии соответствующие комплексу «признаков древности». В то же время все изученные алмазы с включениями относятся к ультраосновному типу парагенезисов и имеют тяжёлый изотопный состав углерода в диапазоне $\delta^{13}C$ от –3,66 до –7,22‰ с максимумом от – 5 до –6‰ [19].

Данный краткий обзор показывает разнообразие коренных проявлений докембрийской алмазоносности, подтверждающее предположения авторов относительно Сибирской платформы. Следует отметить, что малое количество найденных докембрийских источников, помимо прочего, является, по-видимому, артефактом: система поисков коренных месторождений алмазов ориентируется на индикаторные минералы кимберлитов/лампроитов, главным образом на пиропы,

пикроильмениты, хромшпинелиды, а также макроалмазы, тогда как не(кимберлитовые/лампроитовые) источники имеют иные индикаторные минералы, ещё совершенно неизученные, и содержат, вероятно, во многих случаях микроалмазы. Иначе говоря, не формулируется специальная поисковая задача, ориентированная на не(кимберлитовые/лампроитовые) источники алмазов.

Перечень находок «проблемных» алмазов можно продолжить. Однако приведённых примеров достаточно, чтобы иметь представление о разнообразии типов алмазов и типов коренных источников в докембрии. В фанерозое резко сужается разнообразие типов источников алмазов, ими остаются главным образом кимберлиты, а также значительно менее распространённые алмазоносные лампроиты, представителями которых являются раннемиоценовые лампроиты поля Эллендейл (Западная Австралия) [50]. Разнообразие типов алмазов тоже сужается, хотя остаётся достаточно широким, особенно среди алмазов низкого качества, например в мезозойских кимберлитах Западной и Центральной Африки [44].

Относительно масштабов проявления докембрийского алмазоносного магматизма на Сибирской платформе можно отметить, что в настоящее время она в значительной мере закрыта нижнепалеозойскими терригенно-карбонатными породами, а до мезозоя – практически полностью, поэтому реально оценить масштабы докембрийского алмазоносного магматизма невозможно. Однако, судя по тому, что «экзотические» типы потенциально докембрийских алмазов только на северо-востоке платформы распространены на площади около 400 000 км^2, а округлые додекаэдроиды почти по всей платформе [32], можно полагать, что эти масштабы были весьма значительными, и большинство докембрийских алмазов и их источников погребено сейчас под чехлом нижнепалеозойских отложений.

В пользу существования докембрийской эпохи алмазоносного магматизма на Сибирской платформе накоплено большое количество аргументов. Фактически это развитие идей, сформулированных предшественниками. Помимо М.П.Метелкиной с соавторами [11, 15], нельзя не отдать должное И.Ф.Гориной, которая в 1973 г. фактически на интуитивном уровне, без детальной аргументации обосновала те же признаки, которые авторы развивают в данной статье. К сожалению, идеи И.Ф.Гориной были мало известны, так как изложены в локальном малотиражном издании [13] и не усвоены геологами, иначе не пришлось бы тратить огромные средства, время, человеческие усилия на поиск фанерозойских источников алмазов второго типа. Авторы данной статьи также поздно обнаружили эту работу и вынуждены были идти своим путём. Задача изучения протерозойских потенциально алмазоносных отложений остаётся актуальной.

В заключение следует отметить, что анализ предпосылок докембрийской алмазоносности Сибирской платформы в сравнении с другими алмазоносными регионами позволяет предположить широкое развитие докембрийской алмазоносности в её пределах и значительное влияние докембрийских алмазов на минерагению фанерозойских россыпей. Однако поиск докембрийских источников алмазов затруднён из-за ряда обстоятельств: 1) поиск возможен только на выступах докембрийского фундамента, где поисковая обстановка, как минералогическая, так и геофизическая, крайне сложна, тогда как на остальной территории Сибирской платформы докембрийские алмазоносные объекты закрыты мощным чехлом нижнепалеозойских терригенно-карбонатных пород, а также обширными и мощными покровами туфов и лав пермо-триасового возраста и в ряде районов – осадочными породами мезозойского возраста; 2) неизвестны индикационные характеристики докембрийских источников, в частности их индикаторные минералы, поэтому для них невозможно сформулировать поисковую задачу; 3) возможен высокий эрозионный срез алмазоносных пород, из-за которого остались лишь корневые части незначительного размера, что осложняет поиск; 4) возможна сильная изменённость пород, например по типу бразильских филлитов, что затрудняет идентификацию пород. В результате обнаружение докембрийских коренных алмазоносных пород – дело случая, и специальные поиски их практически бесперспективны, но реальна задача обнаружения россыпных алмазов «северного» типа в отложениях протерозоя. По результатам работ авторов, благоприятным для этого являются отложения венда (морские конгломераты, гравелиты, грубозернистые песчаники) мастахской, туркутской, хатыспытской свит в апикальной части Оленёкского поднятия, в районе Уджинского поднятия, где, по сообщению И.Ф.Гориной, в протолочке вендских отложений найден алмаз V разновидности, по восточному обрамлению Анабарского щита, в бассейне р. Кютюнгдэ, где в верховьях её притоков Улахан-Юэттэх и Куччугуй-Юэттэх обнажены отложения венда. Из этого следует, что за «северными» алмазами Сибирской платформы, включающими V+VII, II разновидности (по Ю.Л.Орлову), округлые скрытоламинарные додекаэдроиды, а также редко встречающиеся баллас VI разновидности, следует оставить перспективы только россыпной алмазоносности. Перспективы коренной алмазоносности связаны с кимберлитами наиболее вероятно среднепалеозойского возраста, формирующими ореолы механического рассеяния индикаторных минералов и алмазов в разновозрастных отложениях начиная с позднего девона, после ормирования кимберлитов. Этот вывод имеет большое практическое значение, поскольку позволяет делить россыпные алмазы северо-востока Сибирской платформы на связанные с коренными источниками (кимберлитами, в первую очередь среднепалеозойского возраста) и фоновые, оторванные от коренных источников

неизвестных типов наиболее вероятно докембрийского возраста.

Изложенные в статье материалы позволяют сформулировать новую парадигму алмазоносности Сибирской платформы, предусматривающую существование докембрийской эпохи алмазоносного магматизма и присутствие её алмазов в россыпях начиная с верхнего триаса, а также в погребённых россыпях, связанных с прибрежно-морскими отложениями протерозойского возраста.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГМ СО РАН, а также при поддержке гранта РФФИ № 18-05-70063/18.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аргунов К.П., Зинчук Н.Н., Темников И.А*. Типоморфные особенности алмазов юго-западной части Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков коренных месторождений алмазов) // Методы прогноза и поисков алмазов на юге Восточной Сибири. – Иркутск, 1990. С. 50–51.
2. *Атлас* морфологии алмазов России / В.П.Афанасьев, Э.С.Ефимова, Н.Н.Зинчук, В.И.Коптиль. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 2000(б).
3. *Афанасьев В.П.* О классификации алмазов по Ю.Л.Орлову и рамках ее применимости // Записки Российского минералогического общества. 2011. Т. 140. № 1. С. 130–143.
4. *Афанасьев В.П.* О механическом износе кимберлитовых минералов в шлихах // Советская геология. 1986. № 10. С. 81–87.
5. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н.* Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // Геология рудных месторождений. 1999. Т. 41. № 3. С. 281–288.
6. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Коптиль В.И.* Полигенез алмазов в связи с проблемой коренных источников россыпей северо-востока Сибирской платформы // Доклады Академии наук. 1998. Т. 361. № 3. С. 366–369.
7. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Логвинова А.М.* Особенности распределения россыпных алмазов, связанных с докембрийскими источниками // Записки Российского минералогического общества. 2009(б). № 2. С. 1–13.
8. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П.* Поисковая минералогия алмаза. – Новосибирск: Гео, 2010.
9. *Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Лобанов С.С.* Россыпная алмазоносность Сибирской платформы: возрастные уровни и возможные источники питания // Геология рудных месторождений. 2011(б). Т. 53. № 6. С. 538–542.
10. *Включения* коэсита в округлых алмазах из россыпей северо-восточной части Сибирской платформы / А.Л.Рагозин, В.С.Шацкий, Г.М.Рылов, С.В.Горяйнов // Доклады Академии наук. 2002. Т. 384. № 4. С. 509–513.
11. *Геологические* предпосылки алмазоносности докембрийских терригенных формаций Сибирской платформы / М.П.Метелкина, Б.И.Прокопчук, О.В.Суходольская, Е.В.Францессон // Геология и геофизика. 1975. № 12. С. 82–89.
12. *Голубев Ю.К., Прусакова Н.А., Лукьянова Л.И.* Опыт выявления возможных коренных источников алмазных россыпей Арктической зоны Якутии // Отечественная геология. 2017. №1. С. 54–67.
13. *Горина И.Ф.* Об источниках алмазов северо-востока Сибирской платформы // Россыпная алмазоносность Средней Сибири (сборник статей). – Л.: НИИГА, 1973. С. 49−54.
14. *Граханов С.А., Смелов А.П.* Возраст прогнозируемых коренных источников алмазов на севере Якутии // Отечественная геология. № 5. 2011. С. 56–63.
15. *Докембрийские* алмазоносные формации мира / М.П.Метелкина, Б.И.Прокопчук, О.В.Суходольская, Е.В.Францессон. – М.: Недра, 1976
16 *Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П.* Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 1998. № 2. С. 66–71.
17. *Зинчук Н.Н., Коптиль В.И., Махин А.И.* Об основных типоморфных особенностях алмазов в краевых частях Восточно-Европейской и Сибирской платформ // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2001. № 4. С. 22–35.
18. *Зубарев Б.М.* Дайковый тип алмазных месторождений. – М.: Недра, 1989.
19. *Изотопный* состав углерода алмазов, содержащих кристаллические включения / Н.В.Соболев, Э.М.Галимов, И.Н.Ивановская, Э.С.Ефимова // Доклады Академии наук.1979. Т. 249. № 5. С. 1217–1220.
20. *Константиновский А.А.* Нижнеленский погребенный массив и некоторые вопросы размещения кимберлитов на северо-востоке сибирской платформы / Геотектоника. 1979. № 1. С. 48–57.
21. *Коптиль В.И.* Типоморфизм алмазов северо-востока Сибирской платформы в связи с проблемой прогнозирования и поисков алмазных месторождений // Автореф. дис. … канд. геол.-минер. наук. – Новосибирск, 1994.
22. *Минералогия* и некоторые вопросы генезиса алмазов V и VII разновидностей (по классификации Ю.Л.Орлова) / В.П.Афанасьев, А.П.Елисеев, В.А.Надолинный и др. // Вестник Воронежского государственного ун-та. Сер. геология. 2000(а). Вып. 10(5). С. 79–97.
23. *Механический* износ индикаторных минералов кимберлитов: экспериментальные исследования / В.П.Афанасьев, Е.И.Николенко, Н.С.Тычков и др. // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 2. С. 120–127.
24. *О генезисе* алмазов V разновидности из месторождения им. Ломоносова (Архангельская алмазоносная провинция) / В.П.Афанасьев, Н.Н.Зинчук, П.В.Гриб и др. // Вестник Воронежского государственного ун-та. Сер. геология. № 2. 2005. С. 38–59.
25. *Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. – М.: Наука, 1973.
26. *Орлов Ю.Л.* Минералогия алмаза. 2-е издание. – М.: Наука, 1984.
27. *Осадочно-вулканогенная* природа основания карнийского яруса – источника алмазов северо-востока Сибирской платформы / С.А.Граханов, А.П.Смелов, К.Н.Егоров, Ю.К.Голубев // Отечественная геология. № 5. 2010. С. 3–12.
28. *Особенности* изотопного состава углерода алмазов из россыпей юго-восточной Австралии / Н.В.Соболев, И.Н.Ивановская, Э.С.Ефимова, Э.М.Галимов // Всесоюзное совещание по геохимии углерода: тезисы докладов. – М., 1981. С. 220–222.

29. *Особенности* кимберлитового магматизма Присаянья / А.П.Секерин, Б.М.Владимиров, В.А.Лащенов и др. // Проблемы кимберлитового магматизма. – Новосибирск: Наука, 1989, С. 23–28.
30. *Особенности* морфологии и состава хромшпинелидов алмазоносных площадей в связи с проблемой «ложных» индикаторов кимберлитов / В.П.Афанасьев, Н.П.Похиленко, А.М.Логвинова и др. // Геология и геофизика. 2000(в). Т. 41. № 12. С. 1729–1741.
31. *Относительная* абразивная устойчивость пиропа и пикроильменита – индикаторных минералов кимберлитов / В.П.Афанасьев, Н.В.Соболев, Е.А.Кириллова, Т.С.Юсупов // Доклады Академии наук. 1994. Т. 337. № 3. С. 359–362.
32. *Палеозойский* U-Pb возраст включения рутила в алмазе V–VII разновидностей из россыпей северо-востока Сибирской платформы / В.П.Афанасьев, А.М.Агашев, Ю.Орихаши и др. // Доклады РАН. 2009(а). Т. 428. № 2. С. 228–232.
33. *Перспективы* алмазоносности территории Вьетнама / В.П.Афанасьев, Чан ЧонгХоа, НгоТхиФыонг и др. // Проблемы алмазной геологии и некоторые пути их решения. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2001. С. 454–461.
34. *Полигенез* алмазов Сибирской платформы / В.П.Афанасьев, С.С.Лобанов, Н.П.Похиленко и др. // Геология и геофизика. 2011(а). Т. 52. № 3. С. 335–353.
35. *Секерин А.П., Меньшагин Ю.В., Лащенов В.А.* Докембрийские лампроиты Присаянья // Доклады Академии наук. 1993. Т. 329. № 3. С. 328–331.
36. *Секерин А.П., Меньшагин Ю.В., Лащенов В.А.* Присаянская провинция высококалиевых щелочных пород и лампроитов // Доклады Академии наук. 1995. Т. 342. № 1. С. 82–86.
37. *Селиванова В.В.* Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из прибрежно-морских триасовых россыпей Северного Верхоянья / Автореф. дис. … канд. геол.-минер. наук. – М.: МГРИ, 1991.
38. *Скосырев В.А.* О докембрийских коренных источниках алмазов // Геология и полезные ископаемые стран Азии, Африки и Латинской Америки. – М., 1977. № 2. С. 111–124.
39. *Соболев В.С.* Геология месторождений алмазов Африки, Австралии, Борнео и Северной Америки. – М.: Госгеолтехиздат, 1951.
40. *Соболев Н.В.* О минералогических критериях алмазоносности // Геология и геофизика. 1971. № 3. С. 70–80.
41. *Соболев Н.В.* Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. – Новосибирск: Наука, 1974.
42. *Сравнительная* характеристика морфологии, включений и изотопного состава углерода алмазов аллювиальных отложений Кинг Джордж Ривер и лампроитового месторождения Аргайл (Западная Австралия) / Н.В.Соболев, Э.М.Галимов, К.Б.Смит и др. // Геология и геофизика. 1989. № 12. С. 3–19.
43. *Трофимов В.С.* Основные закономерности размещения и образования алмазных месторождений на древних платформах и в геосинклинальных областях. – М.: Недра, 1967.
44. *Трофимов В.С.* Геология месторождений природных алмазов. – М.: Недра, 1980.
45. *A dimondiferouslamprofire* dike, Gibson Lake Area, Northwest TerritoriesInt. Geol. Rev. / N.D.MacRae, A.E.Armitage, A.L.Jones, A.R.Miller. 1995. 37. P. 212–229.
46. *Afanasiev V.P., Pokhilenko N.P.* Wear of Diamond: An Experimental Study and Field Evidence // Proceedings of 10th International Kimberlite Conference. New Delhi: Springer India. 2013. Vol. 1. P. 317–321.
47. *Barrett D.R., Allsop H.L.* Kimberlites. Abstracts. – Cape Town, 1973.P. 23–25.
48. *DeinesP., Gurney J.J., Harris J.W.* Associated chemical and carbon isotopic composition variations in diamonds from Finsh and Premier kimberlite, South Africa // Geocim. Cosmochim. Acta. 1984. 48. № 2. P. 325–342.
49. *Diamonds* in volcaniclastic komatiite from French Guiana / R.Capdevila, N.Arndt, J.Letendre, J-F.Sauvage // Letters to Nature. 1999. 399. P. 456–458.
50. *Jaques A.L., Levis J.D., Smith C.B.* The kimberlites and lamproites of Western Australia. Gov. Print. Office. Perth. 1986.
51. *Kumar A. et al.* Br-Sr ages of Proterozoic kimberlites of India: evidence for contemporaneous emplacement. Precamb. Res. 1993. 62. P. 227–237.
52. *Maltsev K.A., Zakharchenko O.D., San Claudio A.* Carbon isotope composition of diamonds from Guaniamo placer, Venezuela // 30th Int. Geol. Congr., Beijing. 1996. Abstracts. Vol. 6. P. 86.
53. *Moraes L.I.* Depositos diamantiferous no norte do estado de Minas Geraes. – Bol. Servico de Fomento do Producçao mineral, Rio de Janeiro. 1934. № 3.
54. *Pigeon R.T., Smith C.B., Fanning C.M.* Kimberlite and lamproite emplacement ages in Western Australia. Proc. of 4th Int. Kimb. Conf., Perth. 1988. Vol.1.
55. *Sobolev N.V., Yefimova E.S., Koptil V.I.* Mineral inklusions in the Northeast of the Yakutian Diamondiferous Province // Proceedings of the VII Intern. Kimberlite Conf. Vol. 2. 1998. P. 816–822.
56. *Trueb L.F., Butterman W.C.* Carbonado: a microstructural study // Amer. Miner. 1968. 54. № 3–4. P. 412–425.
57. *Unusual* upper mantle beneath Guaniamo, Guyana shield, Venezuela: evidence from diamond inclusions / N.V.Sobolev, E.S.Yefimova, D.M.DeR.Channeret al. // Geology. November 1998. 26. №11. P. 971–974.