

Российская академия наук • Уральское отделение
Коми научный центр Институт геологии

ЗАО Тимантсодология

ОАО Полярноуралгеология



АЛМАЗЫ СРЕДНЕГО ТИМАНА



Российская академия наук • Уральское отделение
Коми научный центр • Институт геологии

ЗАО Тимангеология

ОАО Полярноуралгеология

АЛМАЗЫ СРЕДНЕГО ТИМАНА

Ответственный редактор
академик Н.П.Юшкін



Сыктывкар, 1999

УДК 549.211

Алмазы Среднего Тимана.- Сыктывкар: Геопринт, 1999. - 80 с.

Обсуждаются результаты исследования представительной коллекции кривограных алмазов месторождения Ичетью (Средний Тиман) с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6400 с энергодисперсионной приставкой Link IsIs-300. Сообщается, что примерно 40 % из них покрыты очень тонкими (0.1–1.0 мкм) разнообразными по составу металлическими пленками, которые сохранились только в отрицательных формах гранного рельефа на кристаллах алмаза (на отпечатках, двойниковых швах, в ямках, между вициналями роста). Сделано несколько очень важных генетических выводов. Представляется, что наличие пленок самородных металлов на алмазах раскрывает механизм природного алмазообразования – рост из раствора в расплаве металлов, и что кривогранный габитус кристаллов алмаза уральско-бразильского типа является формой роста, а не растворения. Составы металлических пленок на природных алмазах могут быть использованы в целях создания новых рецептур шихты для синтеза искусственных алмазов. Методами оптической спектроскопии, люминесценции и ЭПР в среднетиманских алмазах выявлен ряд азотных центров, оценена их концентрация. Установлена корреляция между наличием металлических пленок и видами азотных центров. По набору индикаторных минералов-спутников, а также минералов обнаруженных в качестве примазок на кристаллах, делается заключение об образовании алмазов в эклогитовом субстрате и о том, что их транспортером в земную кору могла быть лампроитовая магма.

Рис. 26; табл. 13; Библиогр. 38 назв.

Авторы:

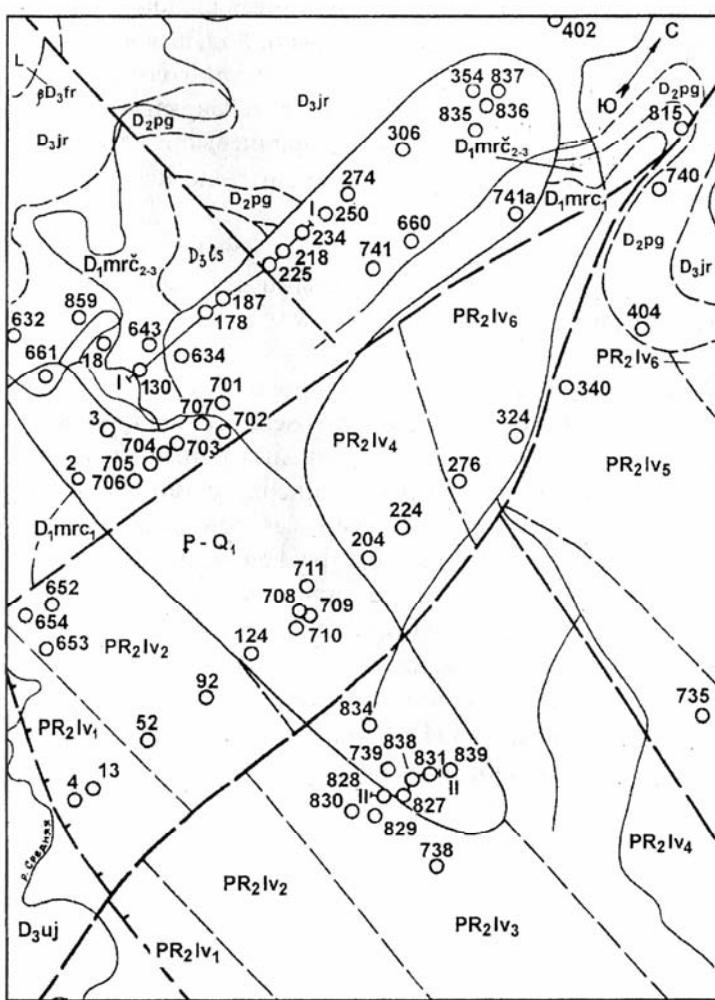
*А.Б.Макеев, В.А.Дудар, В.П.Лютюев, И.В.Деревянко,
Ю.В.Глухов, С.И.Исаенко, В.Н.Филиппов*

ВВЕДЕНИЕ

Нерешенная до сих пор проблема первоисточников алмазов на Тимане заставила нас предпринять новое детальное исследование кристаллов всеми доступными тонкими современными методами.

Представительная выборка среднетиманских алмазов для всестороннего их изучения общим количеством 90 кристаллов была составлена из двух коллекций: ЗАО Тимангеология и ОАО Полярноуралгеология. В нее вошли пять алмазов из современного аллювия р.Косью (Четгасский Камень), один обломок алмаза из аллювия р.Крутой (Верхне-Цилемская площадь, северная часть Среднего Тимана), четыре кристалла алмаза из современного аллювия рек Пижмы и Умбы (Вольско-Вымская гряда). Большая часть коллекции алмазов (80 кристаллов) представляет собой добычу ряда лет из комплексного алмаз-золото-редкометалльного месторождения Ичетью, расположенного на севере Вольско-Вымской гряды Среднего Тимана (рис. 1). Оно залегает в виде маломощного (0.2–0.8 м) гравелитового пласта (рис. 2) в базальной части среднедевонских песчаников пижемской свиты, имеющих широкое площадное

Рис. 1. Геологическая карта северной части Вольско-Вымской гряды по данным поисковых работ 1:25000 масштаба (В.А.Дудар и др., 1991 г.). Условные обозначения. Верхний протерозой, вымская серия: PR₂Iv₁ – первая толща (сланцы, алевролиты, кварцитопесчаники, в основании гравелиты); PR₂Iv₂ – вторая толща (кварцитопесчаники, сланцы, алевролиты); PR₂Iv₃ – третья толща (сланцы, алевролиты, салатно-зеленые глинистые сланцы); PR₂Iv₄ – четвертая толща (сланцы, алевролиты, кварцитопесчаники); PR₂Iv₅ – пятая толща (песчаники, алевролиты, сланцы); PR₂Iv₆ – шестая толща (сланцы, алевролиты, кварцитопесчаники). Девонская система, нижний отдел: D₁mrc₁ – малоручейская свита, нижняя подсвита (переслаивание ильменит-лейкоксен-кварцевых песчаников, алевролитов, аргиллитов, гравелитов и конгломератов); D₁mrc₂₋₃ – малоручейская свита, верхняя и средняя подсвита (песчаники, редко гравелиты, аргиллиты); средний отдел: D₂pg – пижемская свита (песчаники, гравелиты, конгломераты, редко алевролиты, аргиллиты); верхний отдел: D₃jr – яранская свита (песчаники, гравелиты, конгломераты, редко алевролиты, аргиллиты); D₃uj – сархаевский горизонт, устьярская свита (песчаники, алевролиты, мергели, глины, редко известняки). P-Q – палеоген-нижнечетвертичные отложения (галечно-щебнистый материал с супесчано-глинистым цементом); βD₃fr₁ – дайки, силлы базальтов; O218 – буровые скважины и их номера.



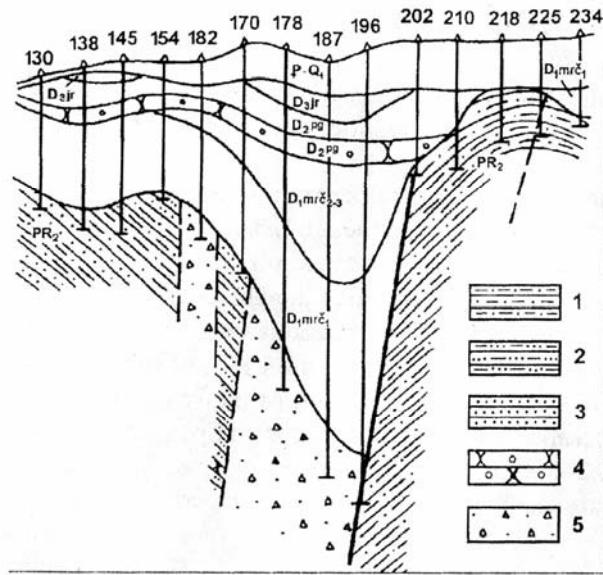


Рис. 2. Геологический разрез девонских отложений по линии I-I по профилю скважин 130-234. Масштабы: горизонтальный – 1:10000, вертикальный – 1:2000. Условные обозначения: 1 – алевросланцы, 2 – алевролиты глинистые, 3 – алевролиты, 4 – кварциты, кварцитопесчаники, 5 – рыхлые тектонические брекчии, представленные алевропсаммитовым материалом пород протерозоя с щебнем и дресвой этих же пород.

ископаемыми месторождения Ичетью, на котором с конца 80-х гг. начались детальные поиски и опытная добыча вначале силами Ухтинской ГРЭ ПГО Полярноуралгеология, а затем ЗАО Тимангеология.

К настоящему времени из этого месторождения добыто более 300 кристаллов алмазов, несколько килограммов золота и несколько сотен килограммов редкометалльного концентрата, содержащего колумбит, ильменорутил, монацит, куларит, циркон. Большая часть найденных кристаллов алмазов это бесцветные или слабоокрашенные, чистой воды разности ювелирного качества. Встречаются окрашенные алмазы: желтоватые, зеленоватые (с зелеными и желтыми пигментными пятнами вблизи поверхности), коричневые и единичные черные зерна карбонадо. Среди кристаллов алмаза имеется один двухкаратник, большие десятка каратников, остальные – более мелких размеров (0.25–0.5 кар.).

Детальная характеристика среднетиманских алмазов предпринята с целью установления их типоморфных особенностей и сравнения в дальнейшем с алмазами Вишерского района (Пермская область) и Зимнего Берега (Архангельская область), а также для генетикоинформационного анализа.

Габитус и морфологические особенности алмазов изучались с помощью фотогониометра, сканирующего электронного микроскопа в обычном режиме отраженных электронов и в режиме Сомро (обратнорассеянных электронов), компьютерного анализа фотоизображений. Составы включений, примазок сингенетичных и эпигенетичных минералов, металлических пленок, а также минералов-спутников определены на сканирующем электронном микроскопе JSM-6400 с энергодисперсионной приставкой Link IsIs-300. Спектроскопические исследования (ЭПР, спектры оптического поглощения, фото- и рентгенолюминесценция при комнатной температуре и температуре кипения жидкого азота) позволили определить видовой состав азотных центров и оценить концентрацию некоторых из них.

Кроме авторов в работе над брошюрой и коллекцией алмазов принимали участие Н.И.Брянчанинова, Р.Х.Дуняшева, Н.В.Повонская, В.И.Ракин, Г.Н.Каблис, Б.А.Макеев, Н.А.Боринцева, Б.А.Горев, всем им авторы выражают искреннюю признательность.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК ИЗУЧЕНИЯ АЛМАЗОНОСНОСТИ СРЕДНЕГО ТИМАНА

Первые целенаправленные поисковые работы на алмазы на Тимане были проведены экспедицией ВСЕГЕИ в начале 50-х гг. (М.А.Апенко, М.И.Плотникова, С.А.Годован и др.). Основной задачей этих работ было установление алмазоносности современных аллювиальных отложений Среднего Тимана. Поиски сопровождались проходкой “пахарных” канав с целью отбора крупнообъемных проб из аллювия методами шлихоминералогического и проточкового опробований. В результате была установлена алмазоносность русловых отложений рек Цильмы, Печорской и Мезенской Пижмы. Всего было найдено семь кристаллов алмазов, в том числе три на Печорской Пижме, три на Цильме и один на Мезенской Пижме. Общий вес кристаллов алмаза составил 80.4 мг. Среди минералов, сопутствующих алмазу, на тех же реках, а также Мыле и Валсе были обнаружены редкие зерна пиропа.

Начальный этап поисков, разумеется, имел региональный характер. Как по объему, так и по масштабу он соответствует рекогносцировочным работам. Но, несмотря на небольшой объем работ, эти исследования послужили основным отправным моментом для постановки дальнейших поисковых работ. Территория Среднего Тимана была оценена как перспективная на обнаружение коренных и россыпных объектов.

В 1957–1958 гг. исследования алмазоносности были продолжены силами Северо-Западного, а затем Коми-Ненецкого геологических управлений (М.И.Осадчук, 1964г.). Наиболее интересными результатами работ этого периода были находки пиропов в песчаниках среднего и верхнего девона по реке Средней. Пиропы были также обнаружены на ряде основных рек Среднего Тимана. В результате проведенных работ был сделан важный вывод в отношении перспективности промежуточных среднедевонских коллекторов.

На Четласском Камне были открыты тела, сложенные эруптивной брекчий щелочно-ультраосновного состава. В целом работы носили также рекогносцировочный характер. Основной упор, как и при первых работах, был сделан на выявление минералов-спутников алмаза. Отсутствие горно-обогатительной техники и рентгенолюминесцентного анализа концентратов проб предопределило направленность работ. И в первом и во втором случаях анализ могли подвергаться лишь тонкие фракции проб при их минералогической обработке. Как следствие этого основные результаты были получены только по фракциям проб размерностью меньше 1.0 мм.

В дальнейшем на Среднем Тимане проводились плановые аэромагнитные и наземные геофизические, тематические и геолого-съемочные работы. Но в силу выбранных на первом этапе приоритетов более поздние работы лишь косвенно предусматривали решение проблемы коренной алмазоносности. При проведении аэромагнитной съемки масштаба 1:25000 в бассейне верхнего течения р. Печорской Пижмы (П.И.Васильев, 1959 г.) были выявлены линейно вытянутые положительные магнитные аномалии, которые интерпретировались как дайки основных пород. По этим данным была выделена зона глубинного разлома (Г.В.Матвеева, В.И.Горский-Кручинин и др.), к которой могли быть приурочены линейные дайки долеритов и, возможно, коренные источники алмазов.

Впоследствии, на основании тех же материалов геофизической съемки, были сделаны другие выводы. Наличие глубинного разлома было поставлено под сомнение. Линейно-вытянутые магнитные аномалии были связаны со “стратиграфическим” горизонтом сланцев, обогащенных магнетитом. Эти положения легли в основу стратиграфического и структурно-тектонического строения Среднего Тимана и надолго послужили отрицательным моментом в решении проблемы картирования глубинных разломов, определяющих современный структурный план и локализациюрудопоявлений и магматических тел. Линейные магнитные аномалии стали интерпретироваться одинаково, как слабомагнитные сланцевые горизонты, на всех поисковых и картируемых площадях Тимана.

Отсутствие данных бурения, возможности обработки и обогащения крупно-объемных проб и в особенности коренных разностей пород, отсутствие аналитики по каппометрии керна скважин повлекли за собой то, что итогами второго этапа исследований стали только проведение геофизических исследований и тематическое их обобщение. Тематический по своей сути характер исследований не позволил выработать критерии локального прогноза коренных источников.

Спустя 13 лет, в 1976 г., поиски коренных магматических тел вновь возобновились Ухтинской геологоразведочной экспедицией ПГО Полярноуралгеология. Первоочередными объектами исследований были выбраны Пижемский и Умбинский участки на Вольско-Вымской гряде и Мезенский участок на Четласском Камне. В пределах этих участков были установлены локальные магнитные аномалии, характерные для мелких овальных ультраосновных тел (Г.А.Ерема, 1972 г.; Р.С.Контарович, 1976 г.).

В 1977 г. при заверке одной из локальных аномалий Пижемского участка с интенсивностью 40 g (при аэросъемке) и 150 g (при наземной) на глубине 76 м была вскрыта кимберлитовая туфобрекчия, выполняющая трубку взрыва, которая впоследствии получила название "Умбинская". С этого момента на указанных участках начались поисково-оценочные работы. В 1978 г. при заверке бурением других аэромагнитных аномалий были обнаружены еще две кимберлитовые трубки – Водораздельная и Средненская. На Мезенском участке были вскрыты пять трубок, сложенных массивным кимберлитом, и шесть даек пикритовых порфиритов. Одна из них, сложно построенная пикритовая дайка, содержит в раздуве блоки кристалло-кластической кимберлитовой брекции (Н.А.Айбабин, Л.П.Дудар и др., 1982 г.).

Результаты поисков позволили говорить об открытии новой Тиманской кимберлитовой провинции. Вновь было высказано предположение о связи кимберлитового вулканизма с зонами глубинных разломов. Проведенными работами были изучены морфология тел, условия их залегания, проведен всесторонний анализ пород и минералов, выполняющих трубки взрыва. Было установлено, что кимберлитовая брекчия представлена обломками массивных микролитовых и безмикролитовых кимберлитов ранних фаз внедрения с неизмененными и измененными вмещающими сланцами, глубинными ксенолитами (эклогитами, оливинитами, дунитами, перидотитами), отдельными зернами минералов-спутников (пиропов, хромдиопсидов, хромшпинелидов и др.) и их сростками. Почти весь керн поисковых скважин из всех трех кимберлитовых трубок Вольско-Вымской гряды был промыт и обогащен, и только в одной керновой пробе из трубки Умбинской в лаборатории ЦНИГРИ был обнаружен осколок алмаза размером 0.47×0.35×0.20 мм. Несмотря на отсутствие промышленных алмазов в трех кимберлитовых трубках Среднего Тимана, их открытие имело очень важное значение для дальнейшего направления поисковых работ на Тимане.

Одновременно с поисками кимберлитовых трубок велись работы по оценке перспектив алмазоносности палеозойских и четвертичных отложений по стандартной методике с отбором шлиховых, протолочных, мелко- и крупнообъемных проб. В концентратах крупнообъемных проб из аллювия рек Пижмы и Умбы были обнаружены четыре кристалла алмаза (см. фототабл. 1а, б, в; 5а, б; 6а–г, алмазы № 2–4), в шлихах – хромдиопсиды и высокохромистые пиропы алмазной ассоциации. Подтвердились знаковые содержания пиропов в базальных слоях девонских отложений, однако, в отношении древних погребенных россыпей были даны отрицательные прогнозы.

Примерно в эти же годы, в конце 70-х – начале 80-х, проводились общие поиски алмазов в северной части Среднего Тимана на Верхнечилемской площади (В.А.Дудар, Л.П.Дудар, 1982 г.). Предпосылками проведения поисковых работ послужили находки алмазов и пиропов алмазной ассоциации в русловом аллювии р. Цильмы и на ее притоках. К началу работ в районе поисков были выявлены геофизические аномалии, предположительно связанные с телами щелочно-ультраосновной формации. В современных русловых отложениях водотоков поисковой площади были обнаружены обломки ультраосновных пород, родственных кимберлитам, диагностированы многочисленные зерна минералов-спутников алмаза, среди кото-

рых попадались довольно крупные слабо окатанные и не окатанные зерна пиропов и хромшпинелидов. Это косвенно подтвердило возможность наличия в данном районе трубок кимберлитового состава. В ходе работ был найден обломок алмаза в аллювии р. Крутой (фототабл. 3 д, е, алмаз № 12). В конгломератах нижнефранских отложений среднего девона обнаружены парагенетические минералы-спутники алмаза, что позволило рассматривать породы D_2fr_1 как потенциально перспективные промежуточные коллектора. Была сделана попытка выработать критерии локального прогноза по ряду факторов, основными из которых являются структурно-тектонический, магматический, литологический, геоморфологический. На основании этих критериев были выделены участки, перспективные на обнаружение как россыпей (современных и древних), так и коренных первоисточников алмазов. Однако они, к сожалению, остались неизученными.

В 1983 г. при проведении поисковых работ на золото в северной части Вольско-Вымской гряды, на участке детальных работ по рр. Умба и Средняя был открыт первый рудный выход (делювиальный шлейф) девонской ископаемой россыпи с весовым содержанием золота и значительным содержанием колумбита, ильменорутила, монацита, куларита и циркона при выходе тяжелого шлиха 1–2 кг/м³.

Весной 1984 г. при производстве общих поисков в северо-западной части Вольско-Вымской гряды в этих же среднедевонских отложениях были найдены и первые алмазы (В.А.Дудар, Н.М.Пармузин, 1987 г.). С этого момента началась история изучения и освоения полиминеральной девонской россыпи Ичетью. Было установлено, что продуктивный пласт палеороссыпи приурочен к базальной части пижемской свиты среднего девона и представлен гравелистыми песчаниками, гравелитами, реже конгломератами и конглобрекчиями. Алмазы в основном кривогранные псевдотетрагексаэдрические и псевдооктаэдрические, чаще всего бесцветные, реже окрашенные в желтоватые и зеленоватые оттенки; более 75 % кристаллов алмазов, а по весу более 90 %, относятся к ювелирным (Дудар, 1996).

В результате проведенных работ на Среднем Тимане был выявлен новый перспективный тип комплексных золото-алмаз-редкометалльных россыпей среднедевонского возраста. Подобные россыпные объекты прогнозируются на палеороссыпных полях Джинью, Ыджидью и других, т.е. на площадях развития базальных среднедевонских и верхнедевонских отложений, образовавшихся за счет перемыва кор выветривания.

При общих поисках алмазов в пределах Четласской площади (Г.А.Дубина и др., 1983 г.) была установлена алмазоносность аллювиальных и аллювиально-делювиальных отложений р. Косью. Всего найдено пять кристаллов (фототабл. 1г–е; 2а–е; 3а–г; 8а–е. Алмазы № 5–9), причем один из кристаллов (№ 8) оказался довольно крупным – 178 мг. Источники сноса остались невыясненными. По одному из предположений поступление кристаллов в русловые отложения могло произойти из полностью размытых в районе находок промежуточных коллекторов верхнедевонского возраста. Также не исключается вероятность поступления алмазов из коренных источников.

Как известно, на Четласской площади широко развиты дайко- и трубкообразные тела щелочно-ультраосновной формации, сложенные карбонатитами, меймечитами, пикритами, кимберлитами. Единичными непредставительными пробами была установлена алмазоносность щелочно-ультраосновных пород (В.Г.Черный и др., 1980 г.), которая более поздними работами не подтвердилась. Это, однако, не исключает возможности присутствия среди щелочно-ультраосновных пород алмазоносных разностей. Учитывая также, что многие исследователи справедливо рассматривают любое проявление ультрамафитов при поисках алмазов как поисковый критерий, перспективы коренной алмазоносности представляются довольно высокими.

В 1985 г. В.М.Пачуковским, В.П.Савельевым и их коллегами был написан отчет по теме: “Составление прогнозной карты алмазоносности Среднего Тимана на основе палеогеографического анализа разрезов позднего докембрия и раннего палеозоя”. Работа проводилась на основе сбора данных, детального изучения литологии разрезов, начиная с позднепротеро-

зойских до современных отложений, и обобщения всех имеющихся материалов. Была построена серия литолого-палеогеографических схем масштаба 1:200000 для наиболее перспективных на алмазы уровней и участков, впервые был обобщен и получен новый материал по минералогии вторичных коллекторов и четвертичных отложений по всей территории Среднего Тимана, выделены минеральные ассоциации всех стратиграфических подразделений, сформулированы некоторые закономерности размещения полезных ископаемых. В результате были обоснованы и частично оконтурены участки, перспективные как на коренные источники алмаза, так и на ископаемые россыпи, которые впоследствии, за исключением Обдырского, проверить не успели.

По результатам экспертной оценки Средний Тиман был отнесен к крупным алмазоносным районам, перспективным и на первоисточники, и на россыпи.

В 1986–1989 гг. проводились поиски коренных источников алмазов в южной части Обдырской возвышенности (Л.П.Бакулина, 1989 г.). В ходе работ был оконтурен погребенный ореол минералов-индикаторов кимберлитов в нижнефранских отложениях девона и изучено его внутреннее строение. Ореолообразующий объект выявлен не был, и площадь была оценена отрицательно в отношении обнаружения кимберлитовых трубок. Однако это не относится к Обдырскому поднятию в целом.

Причинами отрицательного результата поисков авторы признали неудачный выбор методики, нарушение стадийности геологоразведочных работ и, как следствие, затруднение в интерпретации возрастной принадлежности отдельных уровней разреза и привязки главной пиропсодержащей толщи. В будущем при поисках кимберлитовых тел по погребенным ореолам рассеяния авторы рекомендовали бурение перспективных участков по сети 500×500 м в комплексе со специализированными геофизическими исследованиями, такими как сейсморазведка, методы просвечивания и прозвучивания межскважинного пространства.

В 1987–1991 гг. проводились поиски алмазов на Умбинском кимберлитовом поле (В.А.Дудар и др., 1991 г.). Обоснованием постановки работ послужили известные кимберлитовые трубы среднедевонского возраста, промежуточные коллектора с промышленной алмазоносностью, расположенные несколько севернее трубок, структурно-тектонические, минералогические и другие предпосылки.

В результате работ были получены геологические данные, позволяющие по-новому увидеть проблему алмазоносности Тимана. Впервые была установлена алмазоносность верхнепротерозойских отложений. В отложениях среднего рифея была выявлена толща туфогенно-осадочных пород, содержащих пироп, пироксены, хромшпинелиды и мелкие алмазы (скв. 820). Обнаружены мощные зоны дробления тиманского простирания, внутри которых отмечаются овальные тела, сложенные литифицированными грубообломочными брекчиями с разрушенными до алевропсаммитовой размерности породами рифея (сланцами, кварцитами) со следами гидротермальной проработки, находками минералов-спутников алмаза и мелких осколков самих алмазов. Установлены ранее неизвестные в пределах Вольско-Вымской гряды проявления верхнепротерозойского магматизма.

Почти тридцать лет исследованиями ультраосновных магматитов, базальтоидов и кимберлитов на Тимане, в том числе и прогнозом алмазоносности на Среднем Тимане периодически занимался профессор Б.А.Мальков. Результаты его работ опубликованы.

В 1988 г. в ЦНИГРИ и НПО "ВНИИАЛМАЗ" (Ю.А.Клюев, 1988 г.) впервые была изучена представительная коллекция среднетиманских алмазов спектроскопическими методами.

С 1991 г. до настоящего времени работы по выявлению коренной алмазоносности практически не велись из-за трудностей в финансировании.

С 1997 г. к тематическим работам по изучению алмазов и минералов-спутников подключился Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, в котором в конце 1998 г. была создана лаборатория Минералогии алмаза.

В 1999 г. в небольших объемах возобновились производственные работы ЗАО Тимангеология в пределах Вольско-Вымской гряды. Работы предусматривают заверку локальных аномалий бурением.

ГЛАВА 2. МОРФОМЕТРИЯ АЛМАЗОВ СРЕДНЕГО ТИМАНА

Для корректного описания морфологических особенностей кривогранных алмазов месторождения Ичетью и определения их габитуса были предприняты фотогониометрические исследования нескольких кристаллов алмаза, наиболее типичных для этого морфотипа. Выбраны четыре кристалла № 21, 53, 35 и 96, по визуальному описанию близкие к псевдооктаэдру, псевдоромбододекаэдру и псевдотетрагексаэдру (фототабл. 5в; 6д; 7а; 19в).

Исследования проводились на оригинальном фотогониометре, изготовленном в Институте геологии КНЦ УрО РАН В.И.Ракиным по принципиальной схеме А.И.Глазова. Установка состоит из сферического зеркала, фотокассеты, кристаллоносца, системы фокусирующих линз и зеркал, в качестве осветителей использовались ртутная лампа или красный лазер. Все эксперименты, измерения и расчеты выполнили д.г.-м.н. В.И.Ракин и аспирант Г.Н.Каблис, которым авторы выражают искреннюю признательность. Фотогномограммы отретушированы на компьютере с помощью программы Photoshop 3.0.

Алмаз № 21. Визуальное определение – псевдооктаэдр (фототабл. 5в). На гномограммах кристалла (рис. 3, 4) довольно четко выявляются плоские грани октаэдра (111) и псевдограницы двух типов. Псевдогрань первого типа ограничена рефлексами близкими к (143), (087) и ($\bar{1}$ 43). Она представляет собой набор конических поверхностей с вершиной, локализованной на нормали к грани (021). Ось конуса совпадает с направлением [021]. Этот набор кривогранных поверхностей соответствует псевдотригонтетрагексаэдру с индексом (065), близким к центру рефлекса. Среди кубических кристаллографических форм тетрагексаэдров теоретически существует две формы: тригонетрагексаэдр и тетрагонетрагексаэдр. Первая форма встречается у алмаза, а вторая – у пирита. Поэтому среди исследователей алмазов для тригонетрагексаэдров принятая сокращенная запись этой формы, а именно тетрагексаэдр.

Псевдогрань второго типа ограничена рефлексами (576) и (487). Дугообразный рефлекс также свидетельствует о наличии конической поверхности с осью конуса в направлении, близком к [233]. Согласно гномограмме наблюдается некоторая асимметрия рефлексов. Второй тип кривогранных поверхностей по площади распространения уступает первому и может быть отнесен к псевдотригонгексаоктаэдру с индексом (365), наиболее близким к центральной части рефлекса.

Вторая гномограмма снималась в иной ориентации (рис. 4), так, чтобы лучше визуализировать и проиндексировать особенности грани октаэдра. На ней хорошо видны рефлекс от плоской грани октаэдра (111) и три точечных мелких рефлекса, симметричных оси L₃, от расположенной на ней треугольной ямки (фототабл. 5г) с индексом (998). Рефлекс от другой грани октаэдра сдвоен, что говорит о ее блочной структуре. Граница блоков проходит по направлению (1 $\bar{1}$ 0) – (101).

Таким образом мы пришли к заключению о том, что кристалл алмаза № 21 – это кривогранно-плоскогранный комбинационный многогранник - псевдотетрагексаэдр (065) + октаэдр (111) + псевдотригонгексаоктаэдр (365), т.е. псевдокубооктаэдр.

Алмаз № 35 – визуальное определение псевдотетрагексаэдр (фототабл. 7а–в). На фотогномограмме кристалла (рис. 5), снятой в направлении оси четвертого порядка, выявляется только один тип криволинейной поверхности. Рефлексы образуют треугольники, ограниченные индексами (021), (254), (065) и ($\bar{3}$ 65). Необходимо отметить, что гномограмма не демонстрирует плоскостей симметрии, характерных для точечной группы m3m (треугольный рефлекс не является равнобедренным).

Таким образом, по морфологическим данным точечной группой данного кристалла является группа 432, более низкосимметричная, чем точечная группа решетки алмаза m3m. Причем понижение симметрии происходит за счет добавления рефлексов от граней, расположенных субпараллельно ($\bar{3}$ 65). С учетом этого обстоятельства на кристалле следует выделять два типа криволинейных поверхностей. Первый включает в себя множество граней с

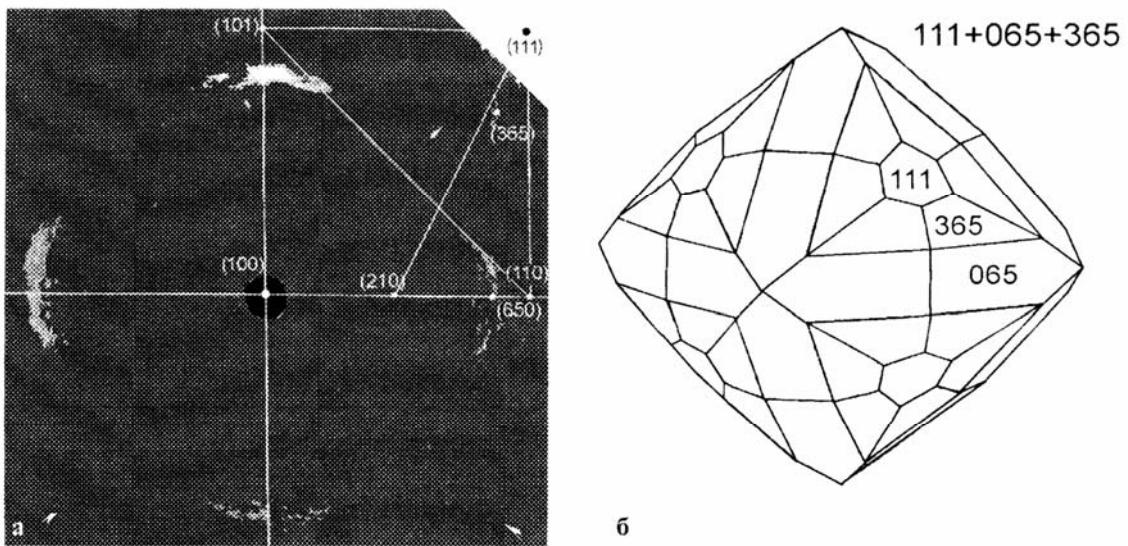


Рис. 3. Гномограмма (а) кристалла алмаза № 21 в ориентировке по оси четвертого порядка. Идеализированный рисунок (б) того же комбинационного кристалла – псевдотетрагексаэдр (065), октаэдр (111) и псевдотригонгексаоктаэдр (365).

рефлексами, заключенными в треугольнике между (021), (065) и (254), второй – грани между (021), (065) и ($\bar{3}65$). Все указанные простые формы размножаются элементами группы 432 на весь кристалл, следовательно, кристалл алмаза № 35 является псевдотетрагексаэдром.

Алмаз № 53, визуальное определение – интенсивно мозаичный псевдоромбододекаэдр (фототабл. 6д). На гномограмме кристалла (рис. 6) получено изображение рефлексов от граней в установке по оси симметрии второго порядка (направление [110]). На кристалле наблюдаются поверхности только одного типа – тригонтетрагексаэдра. Границы кристалла имеют мозаичное строение. На гномограмме отсутствуют плоскости симметрии, что свидетельствует о понижении симметрии огранки кристалла до группы 432, поэтому мы заключили, что алмаз № 53 – псевдотетрагексаэдр.

Алмаз № 96. Визуальное определение – 48-гранник, комбинационный кристалл (фототабл. 19в). Для описания морфологических особенностей кристалла сняты две фотогномограммы в двух ориентациях: по осям четвертого и третьего порядков.

В ориентировке по оси четвертого порядка кристалл № 96 отличается двумя типами поверхностей (рис. 7а). Первый тип ограничен рефлексами на фотогномограмме в треугольнике с индексами (021), (143), (065) и ($\bar{1}43$). Максимум интенсивности близок к рефлексу (054), поэтому данный вид кривогранной поверхности следует отнести к псевдотетрагексаэду. Максимум интенсивности на гномограмме от второго типа поверхности находится на рефлексе (365), нижний край захватывает рефлекс (254), а верхний доходит до (476). Этот тип поверхности можно назвать псевдотригонгексаоктаэдром. На фотогномограмме (рис. 7а) отсутствуют какие-либо плоскости симметрии. Понижение симметрии приводит к тому, что вместо оси четвертого порядка фактически наблюдается только ось второго

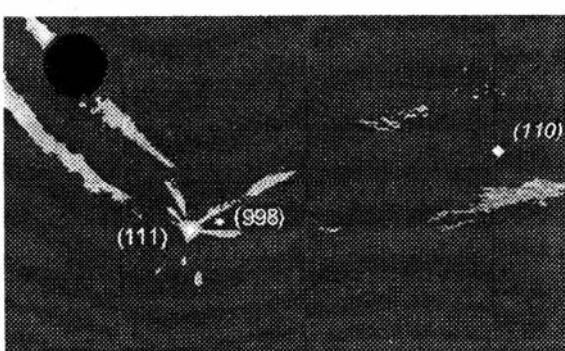


Рис. 4. Фрагмент гномограммы кристалла алмаза № 21 в произвольной ориентировке. Выведена грань октаэдра (111) и отрицательная пирамидка на грани (998). Это либо отпечаток, либо гладкогранная ямка травления на грани (111).

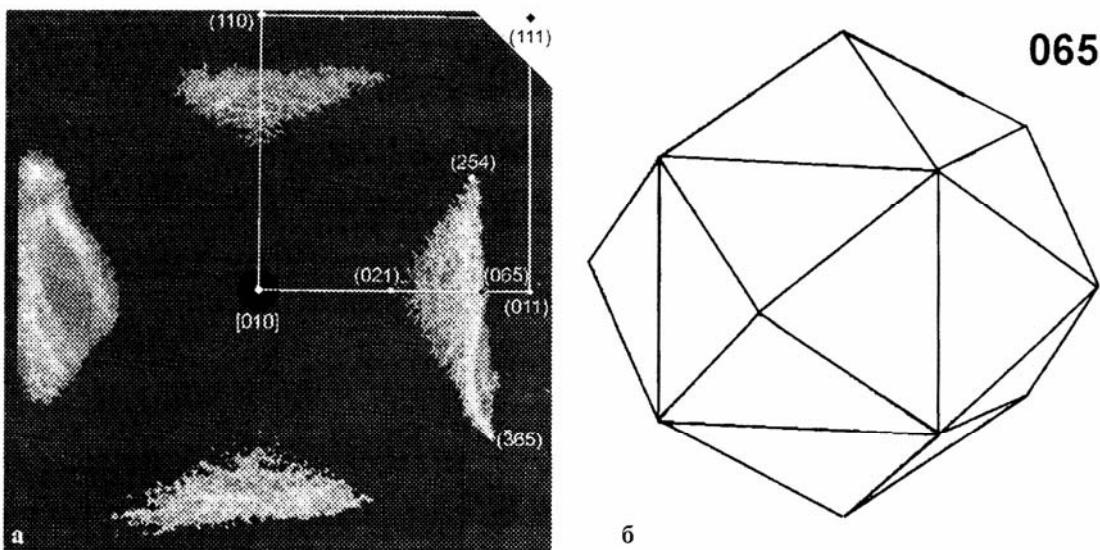


Рис. 5. Гномограмма (а) кристалла алмаза № 35 в ориентировке по оси четвертого порядка. Видны только псевдограны (065) псевдотетрагексаэдра. Идеализированный рисунок (б) тетрагексаэдра (065).

порядка (рис. 7а) и видимое снижение симметрии огранки кристалла соответствует точечной группе 222.

На фотогномограмме (рис. 7б), полученной в направлении оси третьего порядка, отмечаются аналогичные закономерности огранки данного кристалла, отмеченные выше. Таким образом, установлено, что алмаз № 96 это комбинационный кристалл – псевдотетрагексаэдр (054) + псевдотригонексаоктаэдр (365), т.е. псевдокубооктаэдр.

По результатам исследования кристаллов алмаза на фотогониометре можно сделать следующие выводы:

1. По морфологическим данным точечной группой рассмотренных кристаллов является группа 432 кубической сингонии. Следовательно количество наблюдаемых простых форм удваивается (например формы (143) и (413) для точечной группы 432 по сути разные).

2. Поскольку наиболее интенсивные рефлексы на гномограммах тяготеют к простой форме (110), удобнее называть данные кристаллы ромбододекаэроидами (Орлов, 1984). Однако, из названия простой формы “тетрагексаэдр” следует, что это все же гексаэдры т.е. кубоиды. Только отдельные кристаллы (№ 21) демонстрируют плоские грани октаэдра (111) и близкие

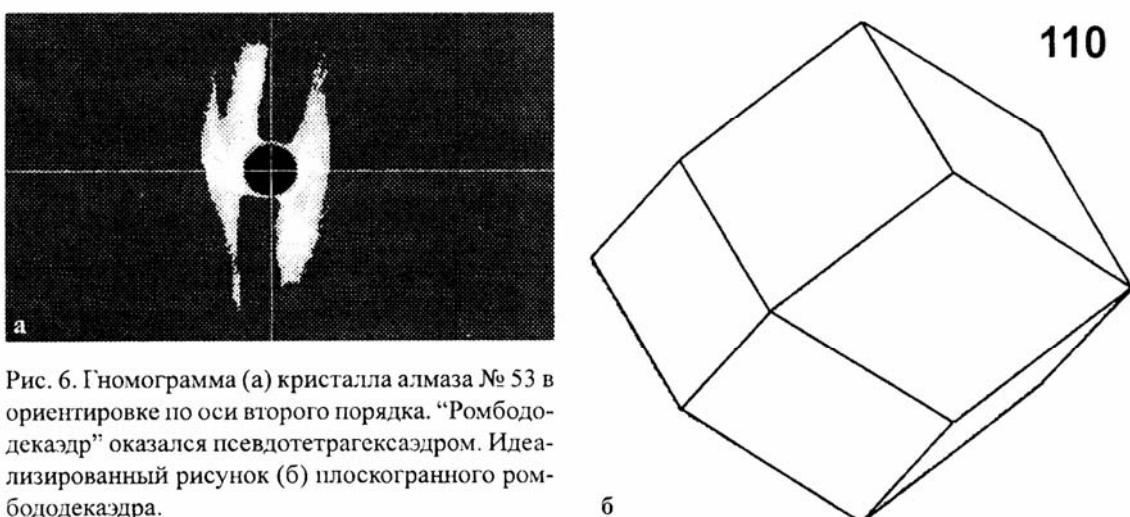


Рис. 6. Гномограмма (а) кристалла алмаза № 53 в ориентировке по оси второго порядка. “Ромбододекаэдр” оказался псевдотетрагексаэдром. Идеализированный рисунок (б) плоскогранного ромбододекаэдра.

6

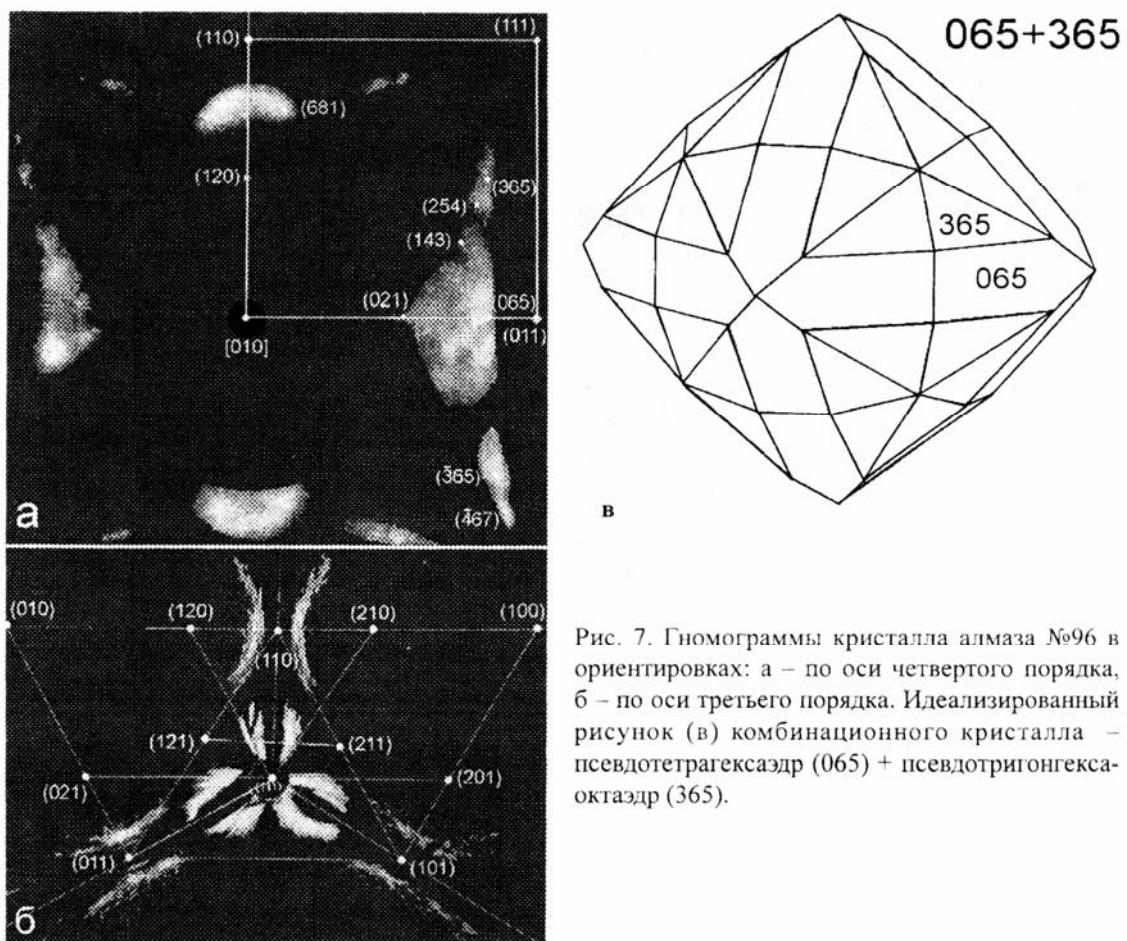


Рис. 7. Гномограммы кристалла алмаза №96 в ориентировках: а – по оси четвертого порядка, б – по оси третьего порядка. Идеализированный рисунок (в) комбинационного кристалла – псевдотетрагексаэдр (065) + псевдотригонгексаоктаэдр (365).

к нему формы тригонгексаоктаэдров, например (365). Такие кристаллы, как № 21, 96, можно называть комбинационными кривогранными тетрагексаэдрами-октаэдроидами, т.е. псевдокубооктаэдрами. Псевдоромбододекаэдроидов среди данной ограниченной выборки кристаллов не выявлено.

3. Треугольные входящие (отрицательные) пирамидки, наблюдаемые на гранях октаэдра (111) кристалла №21, огранены плоскими поверхностями, имеющими практически точные индексы (998). Интерпретация этих ямок может быть двойкой: либо это отпечатки синтаксического сростка алмаза на алмазе, либо они представляют собой плоскогранные ямки травления.

Статистический анализ показал, что главные гранные формы среднетиманских алмазов описываются следующим набором индексов и соответствующих им кривогранных форм: наиболее широко (более 60 % кристаллов) распространен псевдотетрагексаэдр (054) и (065), октаэдроиды и комбинационные кристаллы (19 %) псевдотетрагексаэдры + псевдотригонгексаоктаэдры с псевдогранями (167), (365), (467), а также неправильные угловатые обломки (20 %), среди которых много двойников.

ГЛАВА 3. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АЛМАЗОВ СРЕДНЕГО ТИМАНА

К кристалломорфологическим особенностям алмазов можно отнести габитус, размерность (линейные размеры и вес, выраженный в миллиграммах или каратах), цвет, характер поверхности, наличие пленок, примазок, внутренних дефектов и включения. Для статистически правильного анализа морфологических особенностей алмазов из каждого месторождения по правилам ГОСТа требуется включать в выборку не менее 160 кристаллов. Такой анализ можно в настоящее время провести только для месторождения Ичетью на Среднем Тимане. На Четласском Камне в аллювии р.Косью найдено пока только пять алмазов: из них – один крупный (~0.9 кар) псевдотетрагексаэдр и четыре недиагностируемых мелких обломка. Поэтому при описании морфологии среднетиманских алмазов приходится ограничиваться характеристикой только одного месторождения Ичетью.

Размерность. В первую очередь проанализируем размерность алмазов, добытых за все время от начала проведения поисково-оценочных работ на месторождении Ичетью по 1997 г. (табл. 1).

К 1997 г. было добыто более 200 алмазов общим весом около 10.4 г или 52 кар (три неучтенных в табл. 1 обломка алмаза имеют вес меньше 1 мг). Все они занесены в каталог, где описаны по определенной схеме все их свойства и характеристики.

Распределение размерности первых 200 алмазов носит логнормальный характер (рис. 8). Следует отметить, что подавляющее большинство алмазов размерностью больше 0,1 кар имеют ювелирное качество, а остальные относятся к техническим сортам. Эффективный диаметр технических алмазов меньше 2 мм. Кристаллы алмазов размерностью до 0,1 кар (67 штук) по количеству составляют ровно одну треть (33.5 %), а по весу всего 6.3 % (659 мг или 3.3 кар). Значит, если на промывочной фабрике будет стоять сито с минимальной ячейкой 2 мм, то тем самым сразу же будут отсекаться в хвосты технические алмазы и добываться только алмазы ювелирного качества, доля которых составляет почти 94%. Алмазы меньшего размера, как правило, являются обломками более крупных кристаллов или их периферийных частей с более густой окраской (серой, желтой, коричневой, зеленой), с черными графитовыми и силикатными включениями, а также с зелеными приповерхностными пигментными пятнами.

Из последней партии алмазов добычи 1997 г. нами был описан обломок кривогранного алмаза (№ 166) весом 163 мг. Его реконструкция до полного объема показывает, что он представляет собой примерно 1/10 часть кристалла. А значит вес целого кристалла мог достигать около 8–10 кар, а диаметр – 14 мм. Такие алмазы являются наиболее ценным ювелирным товарным сырьем в месторождениях Вишерского района Пермской области. Таким

Таблица 1
Статистические характеристики размерности алмазов месторождения Ичетью

Размерность, кар	N	n, %	Вес, мг	Вес, %	Средний вес, мг
> 2	1	0.5	446	4.3	446.0
1–2	7	3.5	1709	16.4	244.1
0.5–1	18	9.0	2427	23.3	134.8
0.25–0.5	47	23.5	3331	32.0	70.9
0.1–0.25	58	29.0	1845	17.7	31.8
0.05–0.1	35	17.5	512	4.9	14.6
< 0.05	32	16.0	147	1.4	4.6
Всего	198	100.0	10417	100.0	52.6

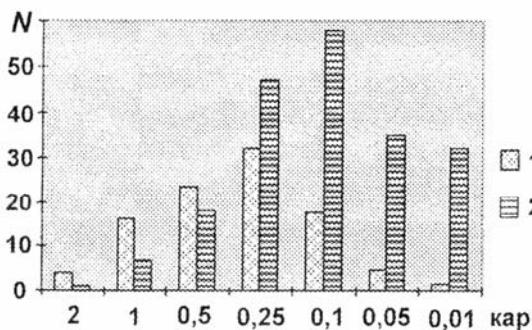


Рис. 8. Логнормальное распределение алмазов месторождения Ичетью (1) по весу в %, (2) по количеству кристаллов в заданном интервале.

гами с применением не всегда сопоставимых терминов и признаков. В НПО ЦНИИАЛМАЗ в 1988 г. была охарактеризована первая коллекция (39 кристаллов), принадлежащая Ухтинской ГРЭ, и затем уже в 1999 г описание ее повторено нами. Вторая коллекция (115 кристаллов, добыча 1995–1996 гг.), принадлежащая ЗАО Тимангеология, была описана минералогом Р.Х.Дуняшевой, и последняя партия (47 кристаллов), принадлежащая также ЗАО Тимангеология (добыча 1997 г. в карьере № 100), описана в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН с применением фотогониометра и сканирующего электронного микроскопа JSM-6400.

При макроописании под бинокуляром с трудом диагностируются мелкие особенности граниной скульптуры алмазов, такие, как ямки травления, вицинали и бугорки роста. Без фотогониометра нелегко отличить комбинационные кристаллы и две очень похожие простые кривогранные формы псевдоромбодекаэдр (двенадцатигранник) и псевдотетрагексаэдр (двадцатичетырехгранник), хотя если тщательно сосчитать количество граней на кристалле и обратить внимание на количество граней, прилегающих к одной вершине, то проблем быть не должно. Псевдотетрагексаэдр отличается от псевдоромбодекаэдра тем, что у первого к вершине L_3 прилегают шесть граней, а у второго только три. По этому же признаку легко отличаются псевдотригонгексаоктаэдр от псевдотетрагексаэдра и псевдоромбодекаэдра. У первого к вершине L_4 прилегают восемь граней, а у двух других форм только четыре грани.

Габитус. Почти все алмазы месторождения Ичетью кривогранные. Среди них распространены три типа кривогранных алмазов: октаэроиды (фототабл. 22а, 29а), гексаэроиды (или кубоиды, фототабл. 14а; 18а; 19а; 26а, д; 28а, в, д; 30) и комбинационные (фототабл. 5; 19в, г; 27г). К кубоидам относится форма псевдотетрагексаэдр, до последнего времени на месторождении не идентифицированная. Скорее всего, эта форма принималась ранее за додекаэроид. В партии алмазов, добывших в 1997 г., эта форма самая распространенная (более 70 %). Правильное определение простых форм алмаза очень важно, поскольку позволяет сравнивать статистические характеристики распространенности алмазов из разных месторождений. Кроме того считается, что кубоиды алмаза образовались при самых низких Р-Т параметрах вблизи границы устойчивости алмаз – графит.

Таблица 2
Сравнительные данные по кристалломорфологии алмазов месторождения Ичетью
по годам добычи

Коллекция	N	Простые кристаллографические формы алмаза, %					
		Додекаэроиды	Гексаэроиды	Октаэроиды	Комбинационные	Двойники всех форм	Не диагностируемые обломки
до 1995 г.	39	51.3	Не опр.	12.5	7.7	20.5	7.7
1995 г.	61	59.0	- " -	19.7	4.9	1.6	14.7
1996 г.	54	64.8	- " -	0	11.1	18.5	5.6
1997 г.	47	0	70.1	8.5	4.2	6.4	10.6
Общая	201	0	60.7	10.4	8.5	10.9	9.5

образом, размерность ожидаемых находок промышленных ювелирных алмазов в месторождении Ичетью может быть в пределах от 2 до 14 мм.

Так сложилось, что описание алмазов проводилось по крайней мере тремя минерало-

Установлено незакономерное распределение кристаллографических форм алмаза в разных участках месторождения, отрабатываемых небольшими карьерами в разные годы (табл. 2). При этом, если распространить обратное соотношение псевдоромбододекаэдров и псевдотетрагексаэдров добычи 1997 г. на всю коллекцию, то получим истинное их соотношение в общей выборке (октаэдроиды : комбинационные : гексаэдроиды \approx 1:1:6). Из приведенных данных видно, насколько сильно влияние числа проанализированных кристаллов в выборке на окончательные статистические характеристики алмазов конкретного месторождения. Поэтому оправданно существующее требование ГОСТа о характеристике алмазов нового месторождения на выборке не менее 160 кристаллов.

По классификации Ю.Л.Орлова (1984) большую часть (79.6 %) изученных алмазов месторождения можно отнести к алмазам V разновидности, а остальные (20.4 %) к алмазам VII разновидности.

Цвет. Необычно распределение кристаллов по окраске: бесцветные алмазы чистой воды составляют 29 % всей коллекции, кристаллы с зеленым нацветом составляют почти половину - 48 % (зеленая окраска алмазов связана с наличием в приповерхностном слое зеленых пигментных пятен), бледно-желтых кристаллов - 18 %, коричневых - 5 %, черных - 0.5 % (один поликристалл карбонадо). Больше всего зеленых кристаллов алмазов было добыто в 1996 г. - 43 кристалла из 54 (80 %).

Пигментные пятна обнаружены более чем у половины изученных кристаллов. Размер пигментных пятен, находящихся в приповерхностном слое кристаллов алмаза, изменяется от нескольких десятков микрометров до 0.5 мм. Известно, что зеленые, желтые и коричневые пигментные пятна появляются на алмазах при их рентгеновском и более жестком облучении. Среди минералов тяжелого шлиха месторождения Ичетью широко распространен монацит с содержанием изоморфного тория от 0.1 до 12 %. Видимо, за многие миллионы лет их совместного нахождения в продуктивном пласте алмазы получили от ториевого монацита значительную дозу облучения, что способствовало наведению зеленой окраски и образованию в приповерхностном слое зеленых или желто-зеленых пигментных пятен. При огранке алмазов в бриллианты приповерхностные пигментные пятна будут сошлифованы, а зеленоватый нацвет из-за своей редкости в месторождениях придаст бриллиантам экзотичность и повысит их стоимость.

Включения. С помощью растрового электронного микроскопа обнаружены очень мелкие (1–20 мкм), порой не видимые невооруженным глазом, выходящие на поверхность алмазов включения и примазки. Среди них: пластинки графита (алмазы № 7, 125, 129, 137, 152, 0-1, фототабл. 3в; 20а; 21), стронциево-редкоземельные алюмо-сульфато-фосфаты переменного состава (алмазы № 19, 38, 63, 81, 83, 94, 129, 137, 152), неодимовый первовскит (алмаз № 129), джерфишерит? (алмаз № 129, фототабл. 21г), флогопит (алмаз № 33, фототабл. 4е), SiO_2 – коэсит? (алмазы № 87, 162; фототабл. 16д), ильменит (№ 0-1), антофиллит-асбест (алмаз № 0-1, фототабл. 27в), каолинит (алмазы № 53, 87, фототабл. 16в, г), гидрослюдя (алмазы № 1, 52, 83, 95, фототабл. 19а, б), скелетные кристаллы двойной соли (K, Na)Cl (алмазы № 24, 31, фототабл. 9е; 13е). Часть поверхностных включений проанализирована, их химический состав обсуждается в главе 4. Состав включений и примазок на алмазах может сыграть важную роль в решении ряда генетических вопросов, а также в определении их коренных источников.

Пленки. Неожиданным открытием стало обнаружение на многих природных кристаллах алмаза Вольско-Вымской гряды и Четласского Камня металлических пленок (фототабл. 1–4, 6, 8–12). Их обнаружение стало возможным только благодаря новой аналитической технике. Толщина металлических пленок колеблется от долей до первых микронов. Покрывают они до 30 % поверхности кристаллов. Распространены пленки у 40 % кристаллов изученной коллекции независимо от их габитуса. Состав пленок разнообразен (см. гл. 4).

Гладкие грани. Многие кривогранные кристаллы алмаза имеют гладкие без сложной скульптуры грани (фототабл. 5, 13, 18, 28д, 30). Отсутствие следов износа на гранях этих кристаллов свидетельствует о близости коренного источника. На кристаллах с гладкими гранями, как правило, не сохраняются примазки и пленки. Эти алмазы обычно имеют самую высокую стоимость при их оценке. Однако при очень большом увеличении на гранях всегда выявляются особенности и мелкие детали рельефа. Одними из наиболее распространенных деталей рельефа, не снижающих, однако, качество кристаллов, являются вицинали.

Вицинали. Вицинали или бугорки роста это положительные формы рельефа на гранях алмаза (фототабл. 11а, в, е; 12в, б; 17д, е; 25в, г; 26в, г; 30в, г). Их размер может варьировать в широких пределах от долей микрона до долей миллиметра. Острые ребра на гранях вициналей свидетельствуют об их возникновении в процессе роста, а притупленные – о начале процесса растворения. Вицинали на алмазах бывают двух основных видов - пирамидальные и округлые спиральные. Спиральные вицинали (фототабл. 11е; 25в, г,) встречены только у десяти кристаллов алмаза изученной коллекции.

Ступени. Линейное расположение вициналей роста создает ступени на гранях многих кристаллов алмаза (фототабл. 5; 14а, б, в; 17б; 19в, г). Эта форма рельефа не несет генетической нагрузки.

Двойниковые швы – свидетели двойникования алмазов и ориентированного их срастания в направлении (111) по шпинелевому закону (фототабл. 4а; 9а; 13; 15д, в; 21а, б, в). Двойники распространены в 10 % алмазов изученной коллекции как среди кубоидов, так и среди октаэдроидов. В кристалле алмаза № 144 двойникование подтверждено методом ЭПР (см. гл. 5).

Дислокации – это параллельные ступени на гранях кристаллов, следы механических сдвигов, происходивших в мантии в твердо-пластичном состоянии при высоких Р-Т параметрах (фототабл. 13б; 22д, е).

Отпечатки возникают при росте двух кристаллов в стесненных условиях (например, алмаз-алмаз, алмаз-графит, алмаз-хромшпинелид и др.) в твердом состоянии в мантии (фототабл. 15б; 17в; 19б; 22; 23б, в, г; 25; 26е; 27; 29).

Индукционные поверхности. Поверхности совместного роста имеют значительное распространение на кристаллах алмаза изученной коллекции (фототабл. 15б, в; 19б; 22в, г; 23б, в; 27д, е; 29б, в). Эти поверхности, так же как и отпечатки, возникают в мантии. Чаще всего это происходит при синтаксическом (ориентированном) росте алмаза на алмазе. Это прямое свидетельство того, что кривогранные алмазы это формы роста, а не растворения.

Каверны - крупные формы растворения размером сотни микрон - первые миллиметры (фототабл. 8, 12д, 17г, 18в, д, 19а, 26е, 30д). Возможно, что каверны возникают на кристаллах алмаза, на которых сохранились металлические пленки – мембранны, через которые происходят как рост, так и растворение кристаллов алмаза. Подтверждено экспериментально (Чепуров и др., 1997).

Ямки травления - мелкие формы растворения размером от 1 до 100 микрон (фототабл. 4а–г; 12е; 16; 20; 24е). Часто сохраняют внутри остатки металлических пленок и примазки сингенетичных или гипергенных минералов.

Износ ребер. Большая часть кривогранных кристаллов имеет относительно свежий облик и гладкую поверхность без следов истирания, что не дает оснований предполагать дальний источник их сноса, и только шесть кристаллов (3 %) обнаружили сильный износ ребер (фототабл. 28) – признак длительного нахождения в водном потоке или дальнего источника сноса.

Сколы – свидетельство механических соударений алмазов с другими твердыми частицами при их совместной транспортировке или растрескивания кристаллов, содержащих включения (фототабл. 1а; 4д; 6а, б; 9а; 12д; 16а; 23д, е). Сколотые кристаллы ценятся меньше цельных.

Свили и трещины. Наличие этих дефектов (фототабл. 8г, д; 9д; 15д) в алмазах безусловно снижает качество кристаллов. В большинстве случаев эти дефекты возникают в процессе механической транспортировки алмазов. Черепичатый рельеф на кристаллах в виде системы

Таблица 3

Морфологические особенности алмазов месторождения Ичетью
(в числителе дроби – количество кристаллов, в знаменателе – %)

ГАБИТУС		ЦВЕТ		ВКЛЮЧЕНИЯ	
октаэдроиды	21/10.4	бесцветные	58/29	графит	86/43
гексаэдроиды (кубоиды)	122/60.7	бледно-зеленые	96/48	силикаты	20/10
комбинационные	17/8.5	желтые	36/18	TR,Sr-Al[(P,S)O ₄]	10/5
двойники	22/10.9	коричневые	10/5	Nd-перовскит	2/1
обломки	19/9.5	черные	1/0.5	газовые	4/2

ДЕФЕКТЫ		СКУЛЬПТУРА		РЕЛЬЕФ	
включения	122/61	ступени	82/41	сложный	136/68
пигментные пятна	111/55.5	вицинали, пирамиды	58/29	гладкий	65/32
свили	102/51	спирали	10/5	износ ребер	6/3
трещины	21/10.5	отпечатки	51/25		
сколы	38/19	ямки травления	84/42		

волосовидных трещинок (фототабл. 8г), по свидетельству экспериментаторов (Чепуров и др., 1997), говорит о выходе металлических включений (по диффузионному механизму) на поверхность кристаллов при их высокотемпературном прогреве.

В табл.3 приведены статистические данные основных морфологических признаков ичетьюских алмазов (201 кристалл).

Полученные данные по кристалломорфологии ичетьюских алмазов позволяют сравнивать их с подобными данными по другим месторождениям России и мира. Так, сравнение кристалломорфологических особенностей среднетиманских алмазов и кривогранных алмазов Урала, по описанию А.А.Кухаренко (1955), подтверждает отнесение их к одному морфотипу, а значит и к близкому генотипу.

ГЛАВА 4. ПЛЕНКИ САМОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА АЛМАЗАХ

При исследовании представительной коллекции кривограных алмазов месторождения Ичетью (Средний Тиман) с помощью сканирующего электронного микроскопа впервые было обнаружено, что примерно 40 % кристаллов покрыты очень тонкими (0.1–1.0 мкм) разнообразными по составу металлическими пленками четырнадцати видов: Au, Ag, Au₂Ag, Au₂Pd₃, Fe, Fe₇Cr, Fe₇Cr₂Ni, Ti, Pb, Sn, Bi, Cu₃Sn, Cu₃Zn₂, Ta. Сохранились они только в отрицательных формах гранного рельефа на кристаллах алмаза (на отпечатках, двойниковых швах, в ямках, между вициналями роста). Кроме самородных металлов в виде пленок и примазок на алмазах обнаружены некоторые силикаты, алюмо-сульфато-фосфаты и оксиды. Необходимо было выявить, какие из обнаруженных пленок являются сингенетичными, а какие эпигенетичными и на этом основании сделать соответствующие генетические выводы.

4.1. Результаты исследования составов включений и пленок

Исследование состава включений и пленок на алмазах проводилось на сканирующем электронном микроскопе JSM-6400 с энергодисперсионной приставкой Link Isis-300 ($U = 20$ кВ, $I = 1$ нА, $t = 50$ с, использованы аттестованные эталоны чистых металлов или оксидов, оператор В.Н.Филиппов). Препараты очищались в ацетоне на ультразвуковом диспергаторе и напылялись графитом. Для анализа выбирались плоские площадки, точность анализа контролировалась высокой суммой компонентов, повторяемостью анализа в разных точках объекта. Проведено более сотни анализов включений и пленок.

Впервые для этого месторождения диагностированы включения и минералы сростки, выходящие на поверхность граней алмаза. Среди них определены следующие минералы: хлорит, флогопит, редкоземельные алюмо-сульфато-фосфаты переменного состава (ряд флюренсита-санбергита), неодимовый перовскит, шеелит, графит, пироп-альмандин, кремнезем (коэсит?), каолинит, гидрослюдя, рутил, ильменит, титаномагнетит, хроммагнетит, антофиллит-асбест (табл. 4, 5). Последние пять минералов диагностированы на поверхности или в порах черного зерна карбонадо.

Размер тонкозернистых агрегатов, примазок и сростков выше перечисленных минералов чаще всего составляет 10–50 мкм и только изредка превышает 100×300 мкм при толщине от долей до первых микронов. Подобные пленочные агрегаты минералов не могли сохраниться на гладких гранях кристаллов алмазов, их удалось обнаружить лишь при большом увеличении на сколах, в трещинах, на отпечатках сингенетичных минералов, в ямках и между бугорками и вициналями роста и растворения.

Редкоземельные алюмо-сульфато-фосфаты флюренсит, гояцит их изоморфные смеси и раньше находили в алмазах и карбонадо. Так, А.И.Горшковым и его соавторами (1996) описывается находка гояцита в карбонадо из Якутии в виде агрегатов очень мелких (1–2 мкм) ромбоэдрических кристаллов в ассоциации с титановыми оксидами – рутилом, брукитом и анатазом.

На девяти кристаллах алмазов месторождения Ичетью нам удалось обнаружить пленочные агрегаты редкоземельных алюмо-сульфато-фосфатов переменного состава (табл. 5). Во многих случаях кроме обычного спектра элементов на экране прибора Link в изучаемом агрегате наблюдались линии титана с переменными интенсивностями. Разгадка этого явления пришла тогда, когда было изучено строение пленочного агрегата на сколе (рис. 9). Выяснилось, что пленки имеют многослойное строение. Нижний слой пленки, толщиной 1–2 мкм, прилегающий к алмазу, представлен металлическим титаном а верхний слой – редкоземельным алюмо-сульфато-фосфатом ряда флюренсита-санбергита. Верхний слой служил экраном и не позволял самородному титану окисляться до оксидов в процессе транспортировки алмаза в земную кору и в гипергенных условиях. В тонких пленках при их анализах титан “просвечи-

Таблица 4

Химический состав включений и примазок на гранях алмазов месторождения Ичетью

№№ алмазов	Оксиды, мас.%									
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	Σ
Гидрослюды										
1	40.08	0.59	30.97	1.34	0.10	2.63	7.29	—	—	83.00
52	40.63	0.64	30.35	2.64	0.18	2.73	8.54	—	—	85.81
83	39.69	0.43	29.64	2.49	0.16	3.38	8.17	—	—	83.96
95	37.58	3.36	28.46	3.51	0.29	3.04	8.21	—	—	82.39
Каолинит										
53	46.07	—	37.83	0.75	0.63	—	0.59	0.93	—	86.80
87/1	46.08	0.20	38.37	1.18	—	0.23	—	—	—	86.06
87/2	46.63	0.33	35.46	3.24	—	0.64	—	—	—	86.30
87/3	46.98	0.44	29.08	4.83	1.05	—	4.01	—	—	86.41
Неодимовый первовскит										
№№	Nd ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Ce ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ta ₂ O ₅	P ₂ O ₅	Σ
129/5	22.29	50.41	6.89	9.65	1.63	0.15	0.11	5.84	3.03	100.0
129/6	18.58	56.75	3.92	8.22	2.98	0.08	0.06	6.20	3.21	100.0

Таблица 5

Нормированный состав флюоренсит-санбергитовых пленок на алмазах месторождения Ичетью.

№№ алмазов	Оксиды, мас.%											
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	CaO	SrO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	Σ
19	2.68	27.74	0.81	2.61	1.81	2.59	3.46	6.82	1.81	24.70	1.95	76.96
38	2.61	27.74	0.75	4.67	2.58	—	3.32	5.34	1.72	24.71	3.52	76.96
63	1.37	32.70	0.73	2.74	1.59	—	6.98	3.51	1.53	23.63	2.21	76.99
81/1	1.15	32.14	2.68	3.02	1.56	—	3.40	4.51	0.66	23.43	4.44	76.99
81/2	1.28	28.89	0.81	3.71	1.21	—	3.85	8.08	1.55	23.08	5.43	77.89
83	0.76	30.84	0.89	2.97	1.48	—	1.91	6.66	2.30	25.36	3.81	76.98
94	1.06	29.05	0.42	6.46	1.65	—	1.67	6.01	2.19	24.28	4.24	77.03
129	—	33.90	2.11	2.46	1.62	—	1.47	5.00	1.47	24.38	4.57	76.98
137/1	1.74	27.64	0.58	2.11	1.81	3.32	1.21	6.43	1.85	27.16	3.12	76.97
137/2	—	34.68	1.05	1.61	1.70	—	1.37	5.48	1.76	26.10	3.05	76.80
137/3	1.18	25.32	0.34	2.56	2.30	2.23	3.04	9.76	2.54	25.55	2.42	77.24
137/4	0.75	25.88	0.98	1.99	3.07	1.95	4.42	11.82	3.00	25.08	1.79	80.73
137/5	0.31	24.76	2.38	1.89	2.26	2.04	2.70	8.74	2.87	27.27	1.78	77.00
152/1	0.82	25.64	0.96	3.00	2.29	4.95	3.33	5.37	0.92	26.75	2.96	76.99
152/2	0.68	26.26	1.02	2.50	2.50	5.65	2.75	3.84	1.05	27.78	2.98	77.11
152/3	0.57	26.91	2.10	1.22	1.72	7.01	3.02	1.66	0.21	27.14	5.44	77.00
152/4	—	26.83	0.22	3.54	1.98	3.02	3.02	9.12	0.96	25.41	2.78	76.88
152/5	—	23.74	1.37	1.30	2.40	2.40	7.47	17.34	1.89	22.55	2.51	82.97
152/6	—	26.46	0.87	5.93	2.52	5.48	3.28	2.75	0.79	25.29	3.44	76.81
152/7	2.10	27.90	1.37	3.99	2.40	5.73	2.01	1.89	—	25.79	3.82	77.00

Примечание. Остаток от суммы приходится на группу (OH)

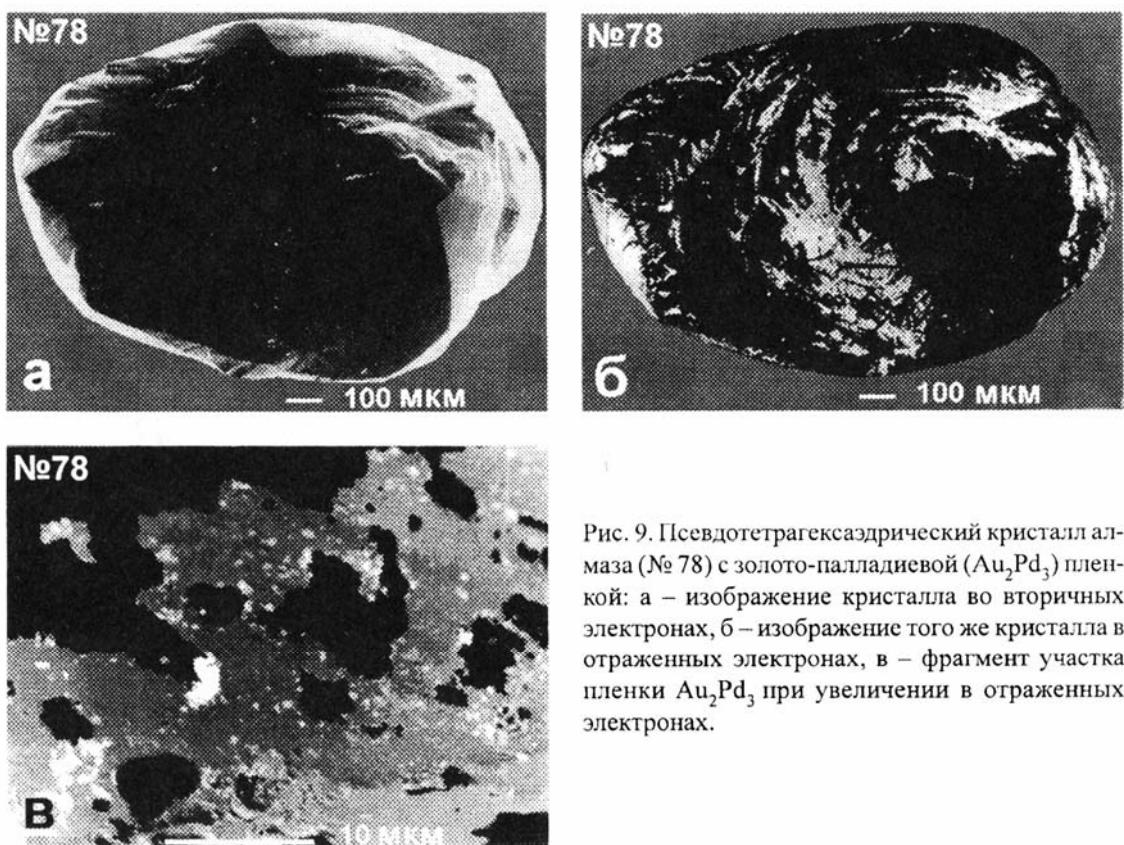


Рис. 9. Псевдотетрагексаэдрический кристалл алмаза (№ 78) с золото-палладиевой (Au_2Pd_3) пленкой: а – изображение кристалла во вторичных электронах, б – изображение того же кристалла в отраженных электронах, в – фрагмент участка пленки Au_2Pd_3 при увеличении в отраженных электронах.

вал” из нижнего слоя и создавалось впечатление присутствия высоких (5–40 %) концентраций титана в редкоземельном алюмо-сульфато-фосфате. Можно предположить, что в вышеописанном случае (Горшков и др., 1996) исследования образца карбонадо из Якутии, вследствие высокой пористости поликристалла алмаза в карбонадо, прерывистости и фрагментарности верхнего слоя гоヤцита металлическая пленка титана окислилась до образования рутила, анатаза и брукита.

Параагенезис минералов включений в алмазах месторождения Ичетью и список минералов-спутников в тяжелой фракции гравелитов (гранаты пироп-альмандинового ряда, ильменит, коэсит, амфибол - чермакит и др.) однозначно указывают на образование их в эклогитовом мантийном субстрате. Другие минералы включения, такие, как флогопит и гипергенные минералы по первичным - хлорит, каолинит и гидрослюдя, редкоземельные флоренсит-санбергит, неодимовый перовскит, а также превышение содержания циркониевых над ниобиевыми минералами (циркона > ильменорутила и колумбита) указывают на то, что транспортером алмаза из мантии могла быть лампроитоодобная магма (Джейкс и др., 1989).

Одним из наиболее интересных результатов проведенного исследования оказалось обнаружение необычных тонких металлических пленок на поверхности исследованных кристаллов алмазов (примерно в 40 % случаев). Пленки очень тонкие и поэтому совершенно прозрачные, они не влияют на цвет кристаллов алмаза. Определены химический состав (табл 6–9), толщина и распространенность пленок по поверхности кристаллов (рис. 9–11, фототаблицы). Пленки удалось обнаружить только с помощью электронного микроскопа, они прекрасно видны на изображении в характеристическом излучении и в режиме “Compo” (в отраженных электронах).

Так как электронный зонд в микроанализе взаимодействует с определенным объемом вещества (несколько кубических микрон) и при анализе тонких пленок захватывается часть

Таблица 6

Химический состав пленок благородных металлов на алмазах Среднего Тимана

№№ алмазов	Элементы, мас.%							Элементы, ат.%				Фаза
	Fe	Ni	Pd	Cu	Hg	Au	Σ	Ni	Cu	Pd	Au	
Золото-пallадиевые пленки												
8/1	0.27	0.30	37.57	0.42	1.03	60.42	100.0	0.74	0.96	51.82	45.02	Au ₂ Pd ₃
8/2	0.13	0.04	37.88	0.88	0.09	56.11	95.14	0.11	2.11	54.09	43.28	- " -
8/3	-	2.94	38.49	3.44	-	55.13	100.0	6.72	7.26	48.50	37.52	- " -
31/1	0.56	0.57	43.73	0.68	-	54.45	100.0	1.40	1.50	57.23	38.49	- " -
31/2	-	-	47.36	-	-	52.64	100.0	-	-	62.49	37.51	- " -
31/3	-	-	40.07	-	-	59.93	100.0	-	-	55.31	44.69	- " -
39/1	0.21	0.43	40.21	0.27	0.26	58.62	100.0	1.07	0.19	54.60	42.99	- " -
39/2	0.29	0.48	40.14	0.49	0.23	58.37	100.0	1.18	0.16	54.21	42.58	- " -
78/1	0.17	0.56	43.68	0.83	-	54.76	100.0	1.33	1.84	57.47	38.92	- " -
78/2	-	1.40	45.29	0.83	-	52.48	100.0	3.28	1.78	58.41	36.56	- " -
78/4	0.58	0.43	43.73	1.59	-	53.68	100.0	1.01	3.45	56.60	37.53	- " -
78/5	0.25	0.36	43.15	0.71	-	55.53	100.0	0.87	1.57	57.17	39.75	- " -
86/1	-	0.46	41.97	-	-	53.95	96.38	1.18	-	59.34	40.01	- " -
86/2	0.43	0.47	43.37	-	-	55.73	100.0	1.18	-	57.56	39.95	- " -
86/3	0.24	0.27	43.44	-	-	56.05	100.0	0.72	-	58.11	40.50	- " -
86/4	0.18	0.36	41.68	-	-	57.78	100.0	0.95	-	56.49	42.31	- " -
Золото-серебряные пленки												
92/1	0.73	0.51	0.58	-	7.09	91.09	100.0	1.56	12.69	1.00	83.27	Au ₇ Ag ₁
92/2	0.13	0.38	0.47	-	8.88	90.14	100.0	1.18	15.16	0.80	82.74	- " -
92/3	0.25	0.30	0.45	-	1.59	97.41	100.0	0.96	3.00	0.82	94.54	Au
92/4	0.24	0.07	0.24	-	0.96	97.79	99.30	0.23	1.84	0.44	96.76	- " -
Серебросодержащие пленки												
2/1	-	-	-	0.27	98.19	1.54	100.0	0.53	94.01	5.46	-	Ag+Ag ₂ S
2/2	1.43	-	-	0.58	86.80	11.18	100.0	1.02	67.72	29.35	-	Ag ₂ S+Ag
12/1	3.27	0.12	17.29	0.55	78.64	-	99.86	0.67	56.38	-	37.71	AgCl+Ag
12/2	0.65	-	12.90	0.75	85.29	-	99.59	0.99	66.30	-	30.51	- " -
12/4	1.75	-	16.30	0.81	81.16	-	100.0	1.01	59.89	-	36.61	- " -

Таблица 7

Химический состав и размер пленок самородных металлов тантала и титана

№№ алмазов	Элементы, мас.%							Размер, мкм	
	Ti	Cu	Fe	Ta	Ni	V	Cr		
7/4	-	1.47	-	98.58	-	-	-	100.0	10×12
7/5	-	1.02	0.05	98.93	-	-	-	100.0	10×12
31/4	94.95	-	3.68	-	0.49	0.20	0.66	100.0	30×100
35	98.86	-	1.10	-	0.04	-	-	100.0	10×20
52/1	94.57	0.75	3.24	-	-	1.05	0.39	100.0	15×100
52/2	95.67	0.26	3.42	-	-	0.41	0.24	100.0	20×100
52/3	96.25	-	3.05	-	-	0.70	-	100.0	20×120

Таблица 8

Химический состав и линейные размеры пленок свинца, олова, висмута, природной бронзы и латуни на алмазах Среднего Тимана

№№ алмазов	Элементы, мас.%								Фаза	Размер, мкм
	Cu	Pb	Ni	Sn	Zn	Bi	S	Σ		
19/1	4.33	0.45		94.04	—		0.75	99.67	Sn	5×10
19/2	58.96	—		40.95	—		0.09	100.0	Cu ₃ Sn	5×10
7/1	57.81	—	0.30	—	34.62		—	92.73	Cu ₂ Zn	17×80
7/2	55.25	—	0.21	—	32.83	—	—	88.53	— " —	10×15
7/5	61.67	—	0.17	—	36.67		1.02	99.72	— " —	4×10
12/1	60.23	—		—	38.77		1.00	100.0	Cu ₃ Zn ₂	10×15
12/3	1.07	98.93		—	—		—	100.0	Pb	60×80
9/1	0.55	99.31		—	—		0.14	100.0	— " —	50×100
9/2	0.28	99.41		—	—		0.24	99.93	— " —	15×20
9/3	0.88	98.95		—	—		0.17	100.0	— " —	40×100
7/3	0.42	93.46	0.30	—	—	—	—	94.18	— " —	60×80
6/1	0.54	98.05	0.36	—	—	—	—	98.95	— " —	100×150
6/2	0.90	98.62	0.42	—	—	—	—	100.0	— " —	80×120
6/3	0.68	96.43	0.25					97.36	— " —	100×140
5/1	—	99.14		—	—		0.86	100.0	— " —	40×300
35/3	—	—	0.57	—	—	98.78	—	99.35	Bi	8×15
95/2	—	0.40	0.61	—	—	97.25	—	98.26	— " —	20×30

Примечание. Ввиду очень тонких пленок самородных металлов сумма анализов в некоторых случаях составляла всего 40–80 %. Такие анализы нормировались до 100.0 %

объема подложки (в данном случае углерод алмаза, который на установке Link не определяется), сумма части анализов была недостаточной (40–80 %). Такие анализы нормировались. Их можно узнать в табл. 6–9 по S = 100.0 %.

На восьми кристаллах алмаза впервые обнаружены пленки благородных металлов: серебра, золота и палладия (табл. 6). При этом присутствовали не только чистые металлы (Au, Ag) с небольшой добавкой обычных для них типоморфных элементов-примесей (Ni, Cu, Fe, Hg,

Таблица 9

Химический состав и линейные размеры никель-хром-железных пленок на алмазах Среднего Тимана

№№ алмазов	Элементы, мас.%								Фаза	Размер, мкм
	Al	Si	Cu	Cr	Mn	Fe	Ni	Σ		
87/3	1.07	1.13	0	0.12	0.25	97.21	0.22	100.0	Fe	10×20
31/9	0.54	0.59	0.42	0.11	0.23	95.89	0.40	98.18	— " —	10×15
57/1	0	0	0	12.99	0.18	86.34	0.46	99.97	Fe ₇ Cr	40×40
57/2	0	0	0	10.44	0.25	88.92	0.31	99.92	— " —	15×18
63/1	0	1.46	0	11.59	0.09	86.17	0.69	100.0	— " —	30×50
19/1	—	2.97	—	11.46	0.50	84.60	0.16	99.75	— " —	10×50
5/2	0	0	0.51	11.40	0.59	86.97	0.34	100.0	— " —	10×20
5/3	0	0	0.75	12.23	0.18	86.34	0.50	100.0	— " —	10×20
9/4	0	0.56	0.61	16.48	1.39	71.87	9.07	99.98	Fe ₇ Cr ₂ Ni	8×20

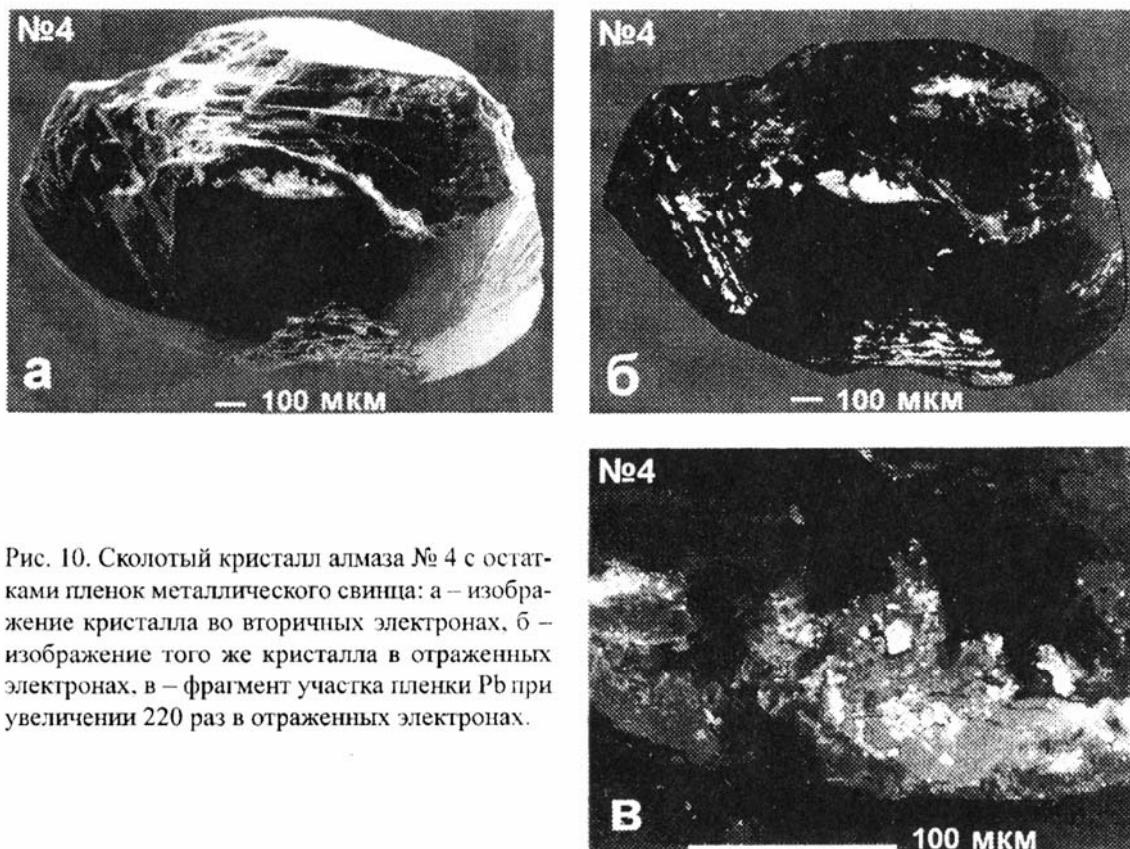


Рис. 10. Сколотый кристалл алмаза № 4 с остатками пленок металлического свинца: а – изображение кристалла во вторичных электронах, б – изображение того же кристалла в отраженных электронах, в – фрагмент участка пленки Pb при увеличении 220 раз в отраженных электронах.

Pd), но и золото-серебряные сплавы, а также интерметаллиды. В золото-серебряных сплавах отсутствовала примесь меди, а в серебряных – золота и палладия.

Впервые в природе на пяти кристаллах алмаза месторождения Ичетью обнаружен сплав золота и палладия (рис. 12а). На всех пяти кристаллах сплав образует устойчивое соединение в виде полуторного интерметаллида (Au_2Pd_3), покрывающего весь кристалл пленкой толщиной 0.1–0.5 мкм, что подтвердили около двух десятков произведенных микрозондовых анализов (табл. 6) и измерений. Установлены узкие вариации содержания в интерметаллиде золота 52.48–60.42 % и палладия 37.57–47.36 %, при этом значительная доля приходится на изоморфные примеси Ni (0.04–2.94 %), Cu (сл.–3.44 %), Hg (сл.–1.03 %) и Fe (сл.–0.58 %).

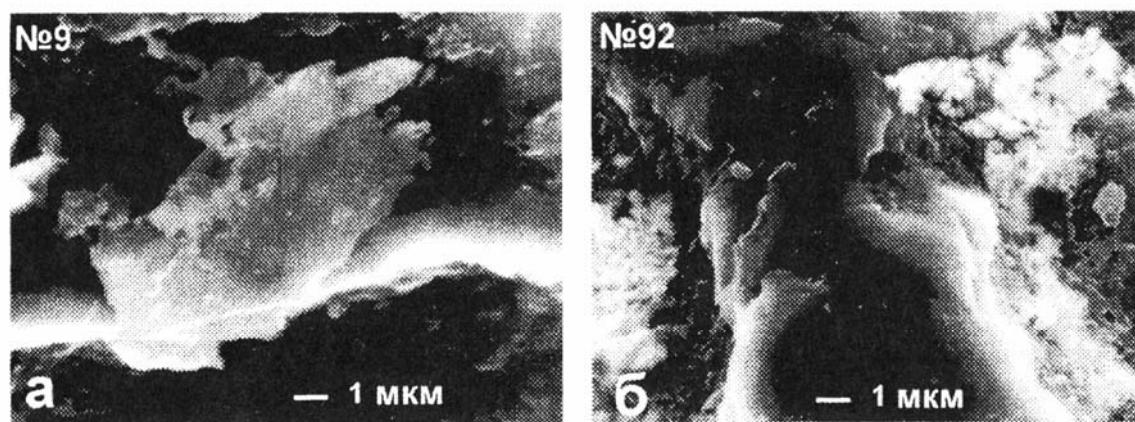


Рис. 11. Фрагменты металлических пленок на кривогранных алмазах: а – никель-хром-железной на кристалле № 9, б – золото-серебряной на кристалле № 92.

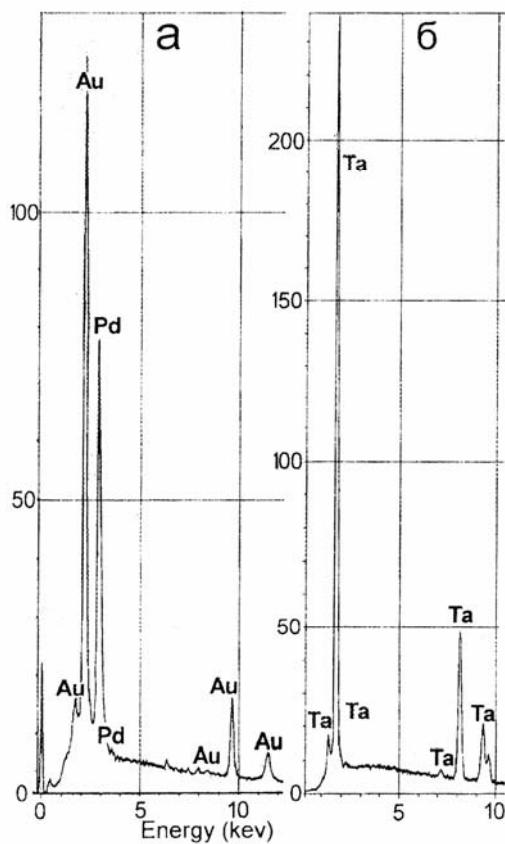


Рис. 12. Энергодисперсионные спектры золото-палладиевой пленки (Au_2Pd_3) на кристалле алмаза №78 (а) и тантала (Ta) на алмазе №7 (б).

Золото-палладиевая пленка в настоящее время представляет собой не сплошное покрытие, а состоящее из островков и пятен (рис. 9), хорошо сохранившееся только в отрицательных формах рельефа. Большая часть пленки очень тонкая, примерно 0.1 мкм, и только в отдельных островках (на электронно-микроскопических снимках в режиме "Сопро" они выделяются более яркими пятнами) толщина пленок увеличивается до 0.5–1 мкм. Возможно, что более яркие участки пленки на электронно-микроскопическом изображении являются результатом перекристаллизации и стяжения металлов в локальных местах.

На одном из кристаллов мы обнаружили такую же тонкую прерывистую пленку золота и золото-серебряного сплава пробностью примерно 900–910 % (рис. 11б). Еще два кристалла алмаза были покрыты пленкой серебра. Но так как серебро наименее устойчивый благородный металл, в пленках разных кристаллов, видимо, в агрессивной среде образовались его соединения с серой и хлором (Ag_2S и AgCl).

В виде небольших пятен (10×20 мкм) на нескольких кристаллах обнаружены остатки пленок чистых металлов титана, тантала (табл. 7, рис. 12б).

Следующую группу на кристаллах алмаза образуют полиметаллические пленки. Наиболее распространены (на семи кристаллах) чисто свинцовые пленки (табл. 8, рис. 10). На двух кристаллах сохранились фрагменты пленок металлического висмута, олова и интерметаллид олова с медью Cu_3Sn , который можно представить как своеобразную природную бронзу (табл. 8). Вместе с пленками свинца на двух кристаллах обнаружены фрагменты пленки, состоящей из соединения полуторного интерметаллида меди и цинка Cu_2Zn (рис. 11а), а также Cu_3Zn_2 совпадающей по составу с природной латунью (Макеев, 1992; Новгородова, 1983).

В изученной коллекции на кристаллах алмазов преобладают пленки на основе железа (семь кристаллов). Обнаружены чисто железные пленки, хром-железные и никель-хром-железные (табл. 9, фототаблицы). При этом наибольшее распространение (на четырех кристаллах) получили хром-железные пленки, образующие устойчивое соединение в виде интерметаллида Fe_7Cr_1 , близкое по составу природному минералу хромферриду $\text{Fe}_3\text{Cr}_{x-0.4}$ (Новгородова, 1983). И лишь в одном случае обнаружен фрагмент никель-хром-железной пленки, состав которой пересчитывается на интерметаллид $\text{Fe}_7\text{Cr}_2\text{Ni}$.

4.2. Обсуждение результатов

При исследовании коллекции кривогранных алмазов месторождения Ичетью было обнаружено, что часть из них покрыта очень тонкими разнообразными по составу металлическими пленками четырнадцати видов: Au, Ag, Au_2Ag , Pd_3Au_2 , Fe, Fe_7Cr , $\text{Fe}_7\text{Cr}_2\text{Ni}$, Ti, Pb, Sn, Bi, Cu_3Sn , Cu_3Zn_2 , Ta. Большая часть из этих металлов и интерметаллидов встречается в природе в самородном виде в различных парагенезисах: в ультрабазитах, кимберлитах, метеоритах,

гидротермальных рудах (Макеев, 1992; Макеев и др., 1998; Новгородова, 1983). И то, что они сохранились в течение столь длительного времени в тонких пленках в отрицательных формах гранного рельефа на кристаллах алмаза, не вызывает особых вопросов. Несколько других фаз встречено впервые, они являются, возможно, недостаточно изученными новыми минеральными видами (Au_2Pd_3 , Cu_3Sn , Ti, Ta). Неожиданным с теоретической точки зрения является факт обнаружения титана и тантала в самородном виде.

Столь позднее открытие металлических пленок на алмазах (в самом конце XX века) можно объяснить появлением более совершенной аналитической техники, совмещением электронного микроскопа с энергодисперсионным электронным зондом (Link). Это позволяет работать с объемными кристаллами без предварительной их специальной обработки, а не с плоско-параллельными полированными препаратами.

Можно предложить следующий механизм роста алмазов в мантии с участием расплавленных самородных металлов. Представим себе, что кристаллы алмаза зарождаются внутри капель расплавленного металла. Углерод прекрасно растворяется во многих металлах и нарастает на зародыш алмаза. С внешней стороны жидкой металлической мембрани углерод может поступать как путем растворения твердого графита, так и путем поглощения из среды углеродсодержащего флюида (CO , CH_4). Следует заметить, что палладий является уникальным растворителем водорода (до 800 объемов). Поэтому в случае участия в процессе синтеза алмаза золото-палладиевого сплава сразу решаются многие проблемы. Жидкий золото-палладиевый сплав будет выполнять множество функций: это растворитель водорода и углерода, и катализатор химических реакций, и проницаемая мембрана, и электрический проводник и т.д.

Проведен расчет необходимого количества металла для осуществления природного синтеза кривогранных алмазов уральского типа в приближении к форме сферического кристалла для золото-палладиевой пленки (табл. 10). Примем, что пленка состоит из сплава 60 % Au и 40 % Pd (теоретический состав интерметаллида Au_2Pd_3), при этом его расчетная плотность должна составить 16.38 г/см^3 . Если пленка будет покрывать всю поверхность псевдо сферокристалла и ее толщина составит 0.1 мкм, то при величине кристалла алмаза в 2 карата, вес пленки будет всего 0.18 мг, а при толщине 1.0 мкм – 1.85 мг. В этом случае отношение веса алмаза к его пленки составит 100:0.047 (при $h = 0.1 \text{ мкм}$) и 100:0.467 (при $h = 1.0 \text{ мкм}$). Становится ясным, что такое соотношение весов алмаза и пленки не позволяло раньше обнаружить металлическую пленку на алмазе методами рентгенофазового анализа, чувствительность которого редко превышает 3–5 %. Трудность заключается еще и в том, что межплоскостные расстояния у алмаза и большинства самородных металлов совпадают. В случае других металлов, кроме чистого золота, имеющих меньшую плотность, вес пленок и соотношение алмаз-металл будут еще меньше. Согласно справочным данным, температура плавления золото-палладиевого сплава с 40 % Pd равна $1400\text{--}1450^\circ\text{C}$. Именно такой температурой оцениваются природные параметры образования алмазов. Очень интересное совпадение. При температурах ниже приведенного интервала, жидкую Au-Pd пленку будет кристаллизоваться и рост алмаза прекратится.

Необходимо учитывать и другие аспекты обнаруженного явления. Так, дизлектрик алмаз в пленочной металлической оболочке, возможно многослойной, по сути дела является конденсатором, накапливающим крупные заряды, а значит, в мантии будут создаваться локальные электромагнитные поля, которые, возможно, будут создавать направленные потоки вещества (например, сбор углерода и тех же самородных металлов из окружающей среды). С другой стороны, в случае формирования на одном кристалле алмаза металлических пленок двух видов возникает гальваническая пара – источник электродвижущей силы. Фрагменты пленок разных металлов обнаружены нами на разных участках одного и того же кристалла алмаза. Выявлены следующие пары: Pb-Ag; Pb-Fe₇Cr; Bi-Ti; Bi-Fe; Sn-Cu₂Sn; Ti-Pd₃Au₂; Ta-Cu₂Zn;

Таблица 10

Расчетные объемы (V), вес (P) и весовые отношения между кривогранными алмазами и золото-палладиевыми (Au_2Pd_3) пленками различной толщины (h)
в приближении к правильным сферическим кристаллам

\varnothing , мм	Алмаз		Пленка			Капля \varnothing , мм	Отношение весов, %
	V, mm^3	P, мг	h, мкм	V, mm^3	P, мг		
2	4.189	14.70	0.1	0.0013	0.0213	0.136	100:0.145
		0.07 кар	1.0	0.0126	0.2063	0.288	100:1.403
4	33.515	117.62	0.1	0.0050	0.0819	0.212	100:0.070
		0.58 кар	1.0	0.0503	0.8239	0.456	100:0.700
6	113.097	396.97	0.1	0.0113	0.1851	0.278	100:0.047
		\approx 2 кар	1.0	0.1032	1.8542	0.582	100:0.467
8	268.082	940.97	0.1	0.0202	0.3309	0.336	100:0.035
		4.7 кар	1.0	0.2012	3.2956	0.726	100:0.350
10	523.599	1837.8	0.1	0.0312	0.5111	0.390	100:0.028
		\approx 9 кар	1.0	0.3140	5.1433	0.843	100:0.280
30	14137.17	49621.5	0.1	0.2828	4.6323	0.814	100:0.009
		248.1 кар	1.0	2.8276	46.316	1.754	100:0.093
50	65449.84	229728.9	0.1	0.7854	12.865	1.145	100:0.006
		1148.6 кар	1.0	7.8543	128.65	2.466	100:0.056
100	523598.8	1837831.7	0.1	3.1416	51.459	1.817	100:0.003
		9189.1кар	1.0	31.4165	514.60	3.915	100:0.028

Примечание. Рассчетная плотность сплава интерметаллида Au_2Pd_3 принята $16.38 \text{ г}/\text{см}^3$

Sn-Ti. Наличие разнообразных пленок на кристаллах будет создавать разнообразные электрические поля, что в свою очередь отразится на качестве кристаллов алмаза.

Скорее всего, рост кристаллов алмаза будет осуществляться до тех пор, пока пленка не истончится до некоторого предела (предположительно, до 0.1 мкм в случае с золото-палладиевым сплавом и, возможно, до 1 мкм при пленке из переходных металлов группы железа и полиметаллов), а дальше сплошность пленки нарушается и рост кристалла алмаза прекращается. Теперь можно рассчитать диаметр капли сплава, которая могла бы послужить затравкой для роста, например, двухкардного кристалла алмаза. При толщине пленки 0.1 мкм диаметр капли расплавленного золото-палладиевого сплава составит 0.28 мм, а при толщине 1.0 мкм соответственно 0.58 мм. Размеры других капель, необходимых для роста кристаллов любой величины, можно рассчитать, применяя данные из табл. 10. Таким образом, для роста алмаза величиной с "Куллинан" потребуется капля (самородочек) золото-палладиевого сплава диаметром от 1.5 до 3 мм и весом не больше 0.5 г.

Необходимо отметить, что золото в гравелитах месторождения Ичетью, ассоциирующееся с алмазами, относится к тонкому классу преимущественной размерности 0.1–0.25 мм. Это укладывается в рамки приведенных выше рассуждений и расчетов, так как модальные размеры алмазов месторождения Ичетью составляют 0.25–0.5 кар. Самый крупный алмаз, найденный здесь, весит 2.2 кар, столь же редки и находки более крупных частиц золота.

Исследователи, занимающиеся технологией синтеза искусственных кристаллов алмазов, уже давно предполагали, что в природе может осуществляться тот же способ синтеза из раствора в расплаве через металлические пленочные мембранны, однако фактов подтверждающих это предположение до сих пор не было. Так, экспериментаторы (Чепуров и др., 1997), опираясь на факты обнаружения мелких включений в природных алмазах и карбонато металлов переходной группы (Fe, Ni, Cr, Cu), пришли к заключению, что именно эти самородные металлы в виде пленок могли участвовать в природном синтезе алмаза.

Экспериментально было также доказано, что при вторичном прогреве и закалке кристаллов алмаза при температурах ниже границы устойчивости алмаз-графит металлические пленки реагируют с веществом алмаза растворяя его, т.е. происходит обратная реакция, при этом на поверхности алмаза образуются каверны, оспины, ямки травления (Чепуров и др., 1997). Подобная гранная скульптура обнаружена и в нашей коллекции с остатками металлических пленок разнообразного состава (фототабл. 8–12). Металлические включения в объеме алмазов при прогреве в этом случае дифундируют на поверхность и образуют характерную систему черепитчатых трещинок (фототабл. 8г). Мгновенные повышение температуры и снижение давления при стрессовых процессах, возможные при быстром подъеме и внедрении кимберлитовой и лампроитовой магмы, могли привести к растрескиванию и разрушению кристаллов многих алмазов. Очевидно, что причиной этому могут послужить металлические включения в алмазах, которые имеют более высокие коэффициенты температурного расширения, чем сам алмаз. При дополнительном прогреве такие кристаллы алмазов разлетаются на осколки. В коллекции алмазов с месторождения Ичетью, и главным образом из современного аллювия Четласского Камня (Средний Тиман), изученные осколки алмазов содержат на поверхностях скола фрагменты пленок и включений самородных металлов Pb, Sn, Bi, Cu₂Sn, Cu₂Zn.

По-видимому, список металлических пленок на алмазах не будет ограничен приведенным в данной работе, а будет расширен дальнейшими исследованиями. Уже сейчас известно, что в месторождениях алмазов Вишерского района Пермской области, в последнее время относимых к коренным месторождениям туффизитового типа (Остроумов и др., 1996; Рыбальченко и др., 1997), очень часто находят чешуйки, кристаллы и зерна самородных металлов: золота, ртути, амальгамы, ванадия, изоферроплатины, осмия, железа, фазу Ni₃Cr и др. В кристаллах алмаза и карбонадо ранее были обнаружены включения переходных металлов (Горшков и др., 1995), такие, как Cr, Ni, α-Fe. Вполне вероятно, что и некоторые другие металлы, например алюминий, медь, индий, кадмий, натрий, калий, редкоземельные, находятся в мантии в самородном виде, образуя пленки на алмазах и других минералах, а в земной коре они окисляются и входят в состав оксидов, силикатов, фосфатов, сульфидов и других соединений.

Ряд морфологических признаков алмазов (преобладание кубоидов, формы роста и др.) и включения характерных минералов-спутников указывают на рост алмазов месторождения Ичетью на границе равновесия алмаз-графит в эклогитовом первичном парагенезисе, а их транспортером в земную кору, вероятнее всего, были лампроиты. До недавнего времени это месторождение считалось древней среднедевонской россыпью. В настоящее время появились новые факты (Макеев, Рыбальченко, Дудар и др., 1999), свидетельствующие о том, что месторождение Ичетью может быть переведено в разряд перспективных коренных объектов.

4.3. Выводы и генетические следствия

Обнаружение пленок самородных металлов на природных алмазах (в ранге открытия) позволяет сделать несколько очень важных генетических выводов и следствий.

1. Наличие металлических пленок четырнадцати видов на природных алмазах, совпадающих по морфологии и в некоторых случаях близких по составу с металлическими пленками на искусственных кристаллах алмаза (Fe-Ni-Mn, Cu-Zn), раскрывает механизм природного алмазообразования – рост из раствора в расплаве металлов (графит → Me → алмаз).
2. Толщина пленок металлов от нескольких долей до первых микронов достаточна для осуществления природного синтеза алмаз-графит.
3. Синтез алмазов осуществлялся в восстановительной среде.
4. Фрагментарность покрытия и следы превращений металлических пленок в другие минеральные формы свидетельствуют об агрессивности среды (Cl, S и др.) во время транспорти-

ровки алмазов от мест их образования в мантии до земной поверхности, поэтому часть пленок особенно на гладкогранных кристаллах могла быть уничтожена.

5. Кривогранные кристаллы алмаза уральского типа псевдотетрагексаэдры и псевдооктаэдры являются формами роста, а не растворения.

6. Сохранение металлических пленок на поверхности алмазов в кавернах свидетельствует о том, что и растворение алмазов при изменении равновесных Р-Т условий также происходит через металлические мембранны.

7. Составы металлических пленок на природных алмазах могут быть использованы для создания новых рецептур шихты для синтеза искусственных алмазов.

8. Нахождение в природе разнообразных включений самородных металлов в породах мантийного происхождения (ультрабазитах, кимберлитах, лампроитах и др.) свидетельствует о значительной роли, которую они играют в процессах мантийного минералообразования.

Авторы осознают, что для окончательного решения вопроса о генетическом значении открытия металлических пленок на алмазах необходимо провести подобные исследования на плоскограных алмазах из типичных кимберлитовых трубок. Такую работу планируется выполнить в дальнейшем.

ГЛАВА 5. СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗОВ СРЕДНЕГО ТИМАНА

Общепринятая физическая классификация алмазов заключается в их разделении по количеству и степени агрегации главным образом примесных атомов. Спектр примесей и дефектов в кристаллической решетке природных алмазов чрезвычайно обширен и многообразен. Концентрации некоторых дефектов могут достигать необычно высоких значений – до 0.5 % регулярных позиций атомов углерода (Вечерин и др., 1997). Большая часть информации о дефектах в алмазах получена с помощью спектроскопических методов: оптического и ИК-поглощения, люминесценции, ЭПР. Известно около сотни оптических и парамагнитных центров, но до настоящего времени структура расшифрована лишь у немногих из них.

5.1. Основные дефектные центры в природных алмазах

Наибольшее разнообразие в состав структурных дефектов алмаза вносят примеси азота, обуславливающие около 20 видов дефектов. Описано также около 10 собственных дефектов, связанных с вакансиями и междуузельными атомами углерода. Формы вхождения атомов азота в алмаз контролируются условиями роста кристалла, что позволяет рассматривать азотсодержащие центры как емкий источник генетической информации. К основным азотным дефектам относят C-, A-, B₁-, B₂- и N3-центры. Алмазы, содержащие первые три дефекта, относятся соответственно к типам Ib (до 0.05 % азота), IaA (до 0.5 % азота) и IaB₁ (до 0.3 % азота, иногда в отечественной литературе обозначается как тип III) физической классификации (Вечерин и др., 1997). Алмазы без этих дефектов считаются безазотными – тип IIa (до 0.003 % азота).

C-центр является простейшим азотным дефектом в кристаллической структуре алмаза. Он представляет собой одиночный атом азота, замещающий атом углерода (рис. 13). Содержащая донорный электрон связь N-C несколько длиннее других, поэтому симметрия центра понижена до тригональной с осью третьего порядка вдоль кристаллографического направления [111]. С-центры обуславливают оптическое поглощение с максимумом при 270 нм и сложное ИК-поглощение в однофононной части спектра – 1350-1100 см⁻¹ с главным максимумом при 1135 см⁻¹. Ввиду высокой симметрии решетки алмаза однофононное поглощение электромагнитного излучения запрещено правилами отбора, но становится возможным при нарушении трансляционной симметрии примесными и собственными дефектами.

С-центры являются парамагнитными. В спектроскопии ЭПР их принято обозначать символом P1. Спектр ЭПР представляет собой анизотропный триплет сверхтонкой структуры от ядра азота (¹⁴N, спин ядра J = 1, естественное содержание 99.63 %). Неспаренный электрон на 70 % локализован на соседнем атоме углерода и на 20 % на атоме азота, что обуславливает небольшое анизотропное сверхтонкое расщепление на ядре азота и тригональный тип угловых зависимостей спектра. Положение линий в спектре ЭПР описывается спин-Гамильтонианом с почти изотропным g-фактором и аксиальным сверхтонким взаимодействием (Бокий и др., 1986):

$$H = \beta HgS + A_{\parallel} J_z S_z + A_{\perp} (J_x S_x + J_y S_y), \quad (1)$$

где S = 1/2, J = 1, g = 2.0024, A_{||} = 4.08 мT, A_⊥ = 25.3 мT.

A-дефекты в структурном отношении представляют собой, согласно общепринятой модели по Е.В.Соболеву (Соболев, Лисойван, 1972), пару атомов азота в соседних узлах решетки (рис. 14). Внешние электроны двух атомов азота образуют орбиталь за счет спаренных спинов, вследствие чего симметрия центра понижена до тригональной. Предлагаются и другие варианты структуры A-центров, например, Ю.А.Клюев и др. предложили модель A-центра в виде сферического многоатомного образования (4–5 нм) с 6–18 % азота (Бокий и

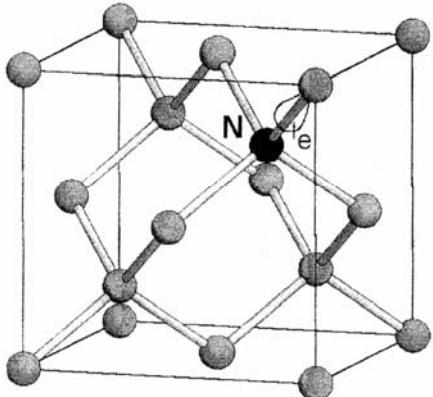


Рис. 13. Строение С-центра в алмазе.

в ультрафиолетовом диапазоне (< 300 нм) оптического поглощения, дают сложную полосу ИК-поглощения с главным максимумом 1282 см⁻¹.

B₁-дефекты относят к протяженным азотсодержащим дефектам, по Е.В.Соболеву, к азотным сегрегациям в плоскости октаэдра (111). Другие исследователи предполагают, что это изометричное многоатомное образование размером 4-8 нм, содержащее азот в количестве около 25 % (Бокий и др., 1986). B₁-дефекты проявляются в ультрафиолетовом и инфракрасном поглощении, а также в люминесценции. В ультрафиолетовом диапазоне с B₁-дефектом связана система электронно-колебательных полос N9 (230.8, 236 нм) и N10 (240, 248 нм). В ИК-спектрах эти дефекты дают пик с максимумом 1175 см⁻¹.

B₂-дефекты представляют собой пластинчатую сегрегацию азота ("плейтлитс") в плоскости (100). Размеры плейтлитсов колеблются от 5 нм до 10 мкм. Они содержатся только в кристаллах с A- и B₁-дефектами. В спектрах оптического поглощения с B₂-дефектами связан ряд слабо выраженных максимумов 263.2, 266.8, 280.0, 283.4 нм (Соболев и др., 1968). В ИК-диапазоне они проявляются в виде узкого пика 1370 см⁻¹ с сателлитом на 1430 см⁻¹. С ростом размеров дефекта главный пик сдвигается в сторону низких частот.

N3-центры относятся к точечным дефектам, структура которых к настоящему времени надежно установлена. В структурном отношении N3-центр образован вакансией и тремя замещающими атомами азота, образующими в плоскости (111) треугольник, называемый также в литературе треугольником Митчелла (рис.15). Окраска и люминесценция многих природных алмазов связана именно с этими дефектами. Часто N3-центры рассматриваются как дополнительные дефекты к B₁-центрам, поскольку содержания этих дефектов прямо пропорциональны друг другу (Вечерин и др., 1997).

N3-центры парамагнитны. В спектрах ЭПР они дают сложную систему линий, центрированную при g-факторе, равном 2.002. В спектроскопии ЭПР эти центры обозначают P2-центрами. Парамагнетизм обусловлен неспаренным электроном на оборванной связи углерода. Спин-Гамильтониан, описывающий спектр ЭПР P2-центров, включает аксиально-симметричный зеемановский член, суперсверхтонкое взаимодействие с тремя эквивалентными ядрами азота и квадрупольное взаимодействие (Щербакова и др., 1978):

$$H = \beta HgS + \sum_{i=1}^3 (SAJ_i + J_i PJ_i), \quad (2)$$

S = 1/2, J = 1, g_{||} = 2.0025, g_⊥ = 2.0031, A_x = 0.346 мТ, A_y = 0.295 мТ, A_z = 0.304 мТ, P ≈ 1 МГц.

В оптических спектрах с N3-центрами связана полоса, разрешенная на бесфононную узкую линию при 415.2 нм и ряд полос фононных повторений, располагающихся относительно бесфононной линии в коротковолновой области спектров поглощения или длинноволновой части спектров люминесценции (рис.16). В оптическом поглощении система линий N3-центров сопровождается менее интенсивными N2- и N4-системами с бесфононными линиями при 477.6 и 344.2 нм, все три системы относят к проявлениям одного и того же центра.

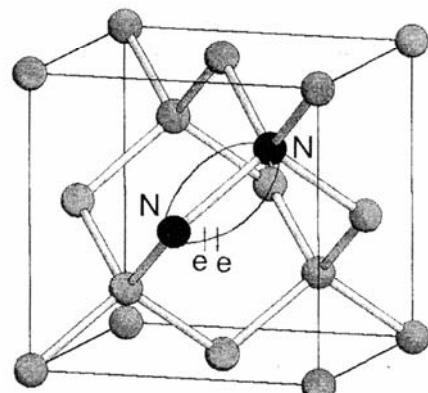


Рис. 14. Модель А-центра в алмазе.

Дополнительные дефекты возникают только в сочетаниях с основными дефектами алмаза и являются производными от них. Так по Е.В.Соболеву, Н3- и Н4-центры образуются при захвате пары вакансий А- и В₁-центраторами, они имеют одинаковую структуру типа VN₂V, отличаясь расположением вакансий в транс- и гош-конфигурациях (Вечерин и др., 1997):

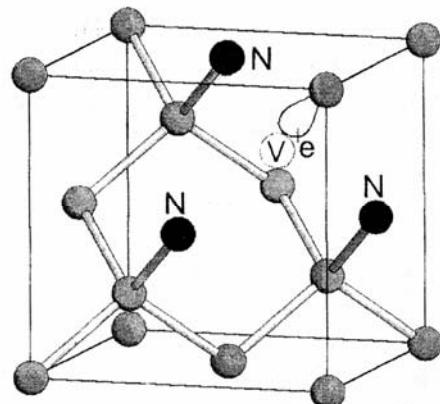
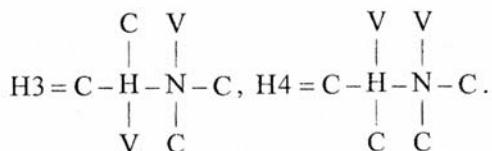


Рис.15. Строение N3-центра в алмазе.

Эти центры проявляются в спектрах люминесценции в виде сложных электронно-колебательных полос с бесфононными линиями при 503.2 и 495.8 нм соответственно. Ассоциации одиночных атомов азота с вакансиями приводят к формированию S1- и S2-центров. S1-центры парамагнитны, по данным М.Я. Щербаковой с соавторами (1992) они представляют собой замещающий атом азота рядом с вакансией углерода - NV-комплекс. Спектр ЭПР S1-центров описывается спин-Гамильтонианом формы (1) со следующими параметрами: $S = 1/2$, $J = 1$, $g_z = 2.002$, $g_x = 2.0027$, $g_y = 2.0032$, $A_{||} = 0.71$ мТ, $A_{\perp} = 0.53$ мТ.

5.2. Изоморфизм азота в алмазах Северного и Среднего Тимана

Коллекция Ухтинской ГРЭ из 55 среднетиманских алмазов была изучена методами ИК-спектроскопии и люминесценции в НПО "ВНИИАЛМАЗ" (Ю.А. Клюев, 1988 г.). На основе измерений коэффициентов ИК-поглощения основных С-, А-, В₁-, В₂-дефектов в 35 относительно крупных алмазах было определено, что общее содержание азота варьирует от 0.06 до 0.3 %. С-дефекты для изученных алмазов не характерны, и методом ИК-спектроскопии они не выявляются вследствие низкой концентрации. Только четыре алмаза были классифицированы как низкоазотистые. В двух алмазах азот присутствует в основном в виде А-дефектов (алмазы IaA по физической классификации), в шести – в форме В₁-центров (тип IaB₁), остальные алмазы отнесены к смешанному типу. Методом фотolumинесценции в большинстве кристаллов установлены N3-центры, во многих кристаллах обнаружены Н3- и Н4-центры, в единичных случаях отмечены S2-, S3-, GR1-центры. Концентрации этих дополнительных дефектов в алмазах Среднего Тимана не оценивались.

Большая коллекция алмазов (55 кристаллов) из современных северотиманских россыпей была исследована в МГУ на растровом электронном микроскопе (Бовкун и др., 1996, 1998). Были также получены спектры поглощения этих алмазов в видимой и ультрафиолетовой областях. Согласно результатам этой работы наибольшее количество алмазов характеризуется спектрами оптического поглощения

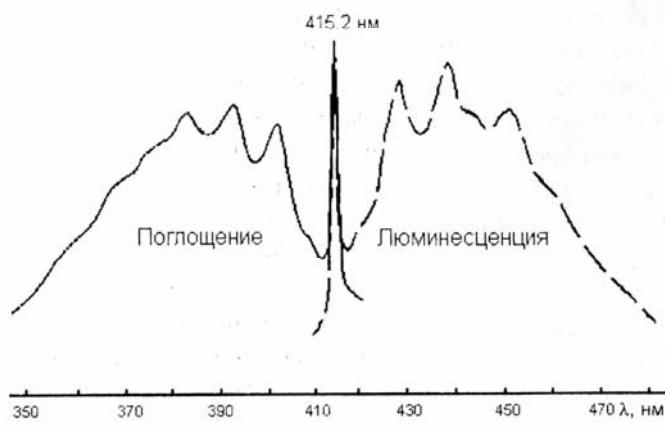


Рис. 16. Зеркально-симметричные спектры поглощения и люминесценции N3-центра.

с системами полос N2, N3 и N4, т. е. содержащие дефекты A и B₁. Меньшую долю составляют алмазы, в оптическом поглощении которых эти системы отсутствуют, и, следовательно, кристаллы содержат только А-дефекты. Алмазы смешанного типа немногочисленны. Значительная часть коллекции представлена алмазами со спектрами поглощения, характерными для кристаллов с основной формой примесей азота в виде С-центров. Это в основном мелкие кристаллы и обломки с желтой и дымчато-серой окраской, методом ИК-спектроскопии они не изучались.

Сопоставление характеров распределения алмазов по содержанию А-центров, промежуточной формы в эволюционном ряду азотных дефектов, показало что “алмазы Среднего Тимана и россыпей Урала имеют разные источники формирования, во всяком случае, алмазы Среднего Тимана имеют два источника” (Ю.А.Клюев, 1988 г.). По данным Л.Д.Белименко с соавторами (1998) изоморфный азот в форме “плейтлитс” (B₂-дефекты) для северотиманских алмазов не характерен, что свидетельствует о сравнительно невысоких температурах их формирования. Однако по другим данным (Клюев и др., 1974) изоморфный азот в форме B₂-дефектов присутствует практически в большей части алмазов из россыпей Северного Тимана. Отмечено сходство в распределении алмазов из россыпей Северного Тимана, Северной Якутии и кимберлитов Беломорья по типам спектров оптического поглощения (Бовкун и др., 1996). Исходя из этого, авторы полагают, что алмазы северотиманских россыпей образовались в верхних частях кимберлитовых тел, кристаллизация которых происходила в условиях повышенного окислительного потенциала.

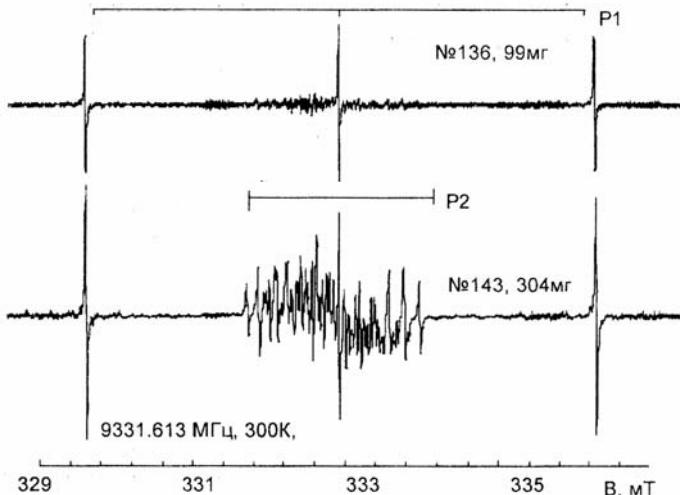
Практически все изученные тиманские алмазы относятся к наиболее распространенному в природе типу Ia. Их классификация по основному типу азотного дефекта явно не достаточна для установления генезиса кристаллов. Для более подробной характеристики алмазов Тимана нами, наряду с оптическим, ультрафиолетовым поглощением, фотолюминесценцией и рентгенолюминесценцией, был использован метод ЭПР, позволяющий провести более детальную классификацию кристаллов (Минеева, Титков и др., 1996), опробованную, например, при исследованиях алмазов из кимберлитов Архангельской провинции (Минеева, Бершов и др., 1996). С использованием этого метода произведены оценки концентраций С-центров и N3-дефектов, определяющих оптические и парамагнитные свойства различных природных алмазов.

5.3. Электронный парамагнитный резонанс алмазов Среднего Тимана

Изучение парамагнитных центров в алмазах проводилось на радиоспектрометре Х-диапазона SE/X 2547 (RadioPAN, Poland) при частоте ВЧ-модуляции 100 кГц. Калибровка спектров по магнитному полю и мощности СВЧ произведена по сигналам ЭПР Е'-центров в кварце, параметры которых установлены с высокой точностью. Концентрация парамагнитных центров в алмазах определялась методом двойного интегрирования линий эталона (MgO:Mn²⁺) и исследуемого образца, записанных в одном спектре при ориентации оси четвертого порядка у кристалла вдоль направления поляризующего магнитного поля. Ориентация образцов производилась двукружным гониометром, точная ориентировка достигалась совмещением линий магнитно-неэквивалентных положений центров в кристаллической структуре алмаза. Условия регистрации выбирались таким образом, чтобы обеспечить для линий ЭПР алмаза режим, далекий от насыщения, и приемлемое отношение сигнал-шум для анализируемых линий. Сложности, связанные с регистрацией в спектрах ЭПР узких, быстро насыщающихся линий, а также некоторые методические приемы изложены в статье Р.М.Минеевой с соавторами (1996).

В спектрах ЭПР алмазов, ориентированных направлением [100] вдоль поляризующего магнитного поля, выделяются две системы линий, связанных с наличием примесей атомов азота в структуре алмаза (рис.17). Интенсивный триплет обусловлен P1-центрами или С-

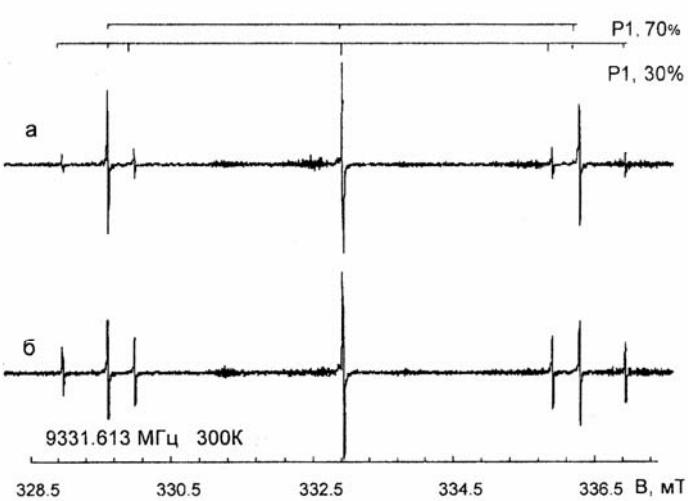
Рис. 17. Спектры ЭПР алмазов месторождения Ичетью в ориентации магнитного поля вдоль [100].



центрами по оптической классификации. Сложная система линий, наблюдаемая вокруг центральной линии триплета, происходит от широко распространенных в алмазах P2-центров или N3-центров по оптической классификации. Все изученные кристаллы характеризуются спектрами ЭПР с преобладанием по интенсивности линий P1- или P2-центров (Макеев и др., 1998; Лютоев и др., 1999; Makeyev et al., 1998). Только в одном из кристаллов (№ 153) с практически нулевой концентрацией P2-центров были обнаружены также NV- и NV₂-центры: вакансия и дивакансия углерода, захватившие атом азота (Щербакова и др., 1992).

Простой вид спектра ЭПР P1-центров позволяет по характеру расщепления линий, относящихся к четырем магнитно-неэквивалентным положениям центра в элементарной ячейке, выявлять сдвойниковые кристаллы. Так, один из исследованных алмазов (№144) оказался двойником, что проявилось в спектре ЭПР (рис. 18). В общей ориентации этого алмаза наблюдается восемь магнитно-неэквивалентных спектров P1-центров, состоящих из двух четверок равноинтенсивных линий, что говорит о наличии двух разноориентированных блоков.

Интенсивность одной четверки линий примерно вдвое выше другой. Если предположить равенство концентраций P1-центров в обоих частях, то вес меньшего блока должен составлять 30 % от общего веса кристалла. При ориентации магнитного поля вдоль направления [100] большого блока более интенсивная четверка линий P1-центров вырождается в одну линию, вторая четверка представляется двумя одиночными и одной двойной линией. Аналогичная ситуация с направлением [100] малого блока реализуется при развороте алмаза на угол около 30 или 60°. Таким образом, алмаз № 144 является двойником с относительными весами разноориентированных индивидов 30 и 70 %, оси четвертого порядка этих индивидов развернуты примерно на 60 или 30 градусов. Среди других алмазов, изученных методом ЭПР, сдвойниковые кристаллы не выявлены.



Следует отметить, что концентрация P1-центров рассчитывается с довольно хорошей точностью, так как боковые компоненты триплета регистрируются в спектрах ЭПР в чистом виде. Центральная линия триплета накладывается на спектр P2-центров, в котором кроме того присутствует и трудно устранимый широкий фон. Все это

Рис. 18. Спектры ЭПР сдвойникованного алмаза № 144 в направлении магнитного поля вдоль [100] большого (а) и малого двойников (б).

сильно снижает точность оценки концентрации P2-центров. В табл. 11 представлены оценки концентраций центров P1 и P2 для 44 кристаллов.

В алмазах Северного Тимана методом ЭПР определены концентрации P1-центров на уровне не более 10^{16} см^{-3} (Клюев и др., 1974). Только в одном из семи изученных кристаллов была зафиксирована концентрация P1-центров близкая к 10^{18} см^{-3} . Концентрация P1-центров в исследованных нами алмазах Среднего Тимана колеблется в относительно узких пределах - от $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ до $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ (табл. 11), составляя в среднем $8 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ($\sigma = 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$). Это весьма низкие концентрации дефектов для обнаружения их методами оптической и ИК-спектроскопии. Концентрация P2-центров варьирует гораздо сильнее: от ненаблюдаемых значений до $5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Среднее содержание P2 центров около $1.5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ($\sigma = 1.3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$). Диапазон изменения отношения концентраций этих двух центров (C_{P2}/C_{P1}) простирается от 0 до 60. Нами был проведен корреляционный анализ связей между концентрацией парамагнитных центров в алмазах и их кристалломорфологическими особенностями. Признаками сравнения выбраны: концентрация P1 и P2- центров и их отношение C_{P2}/C_{P1} , с одной стороны, и вес кристаллов, наличие пигментных пятен, включений, сложность гранного рельефа, наличие изношенных ребер, ямки травления, пирамиды и бугорки роста, спиральные вицинали, ступени на гранях, отпечатки минералов-спутников, наличие трещин и свищей,

Таблица 11
Концентрации (10^{16} см^{-3}) парамагнитных центров в алмазах Среднего Тимана

№№ алмазов	Характеристика алмазов				№№ алмазов	Характеристика алмазов			
	Вес, мг	P1	P2	C_{P2}/C_{P1}		Вес, мг	P1	P2	C_{P2}/C_{P1}
153	136	0.3	~0	~0	22	51.8	0.5	11	22
144	182	1.1	1.4	1	96	114.9	0.8	18	22
160	102	1.6	1	~1	21	70.9	0.6	13	23
161	78	0.6	1.1	2	145	75	1.5	36	24
166	163	1.0	3	~3	95	54.7	0.7	17	25
155	46	0.9	5	~5	38	53	0.2	6.7	28
150	47	0.4	2	5	2	34.1	0.6	14	29
125	58	1.7	12	7	133	48	0.2	5.3	30
41	78.6	0.6	5.9	10	131	216	0.8	23	30
97	50.1	0.8	7.1	9	143	304	0.9	29	31
154	55	0.2	2	10	8	178.3	0.6	17	32
146	95	0.2	2.3	10	51	245	0.7	24	32
80	97.7	0.8	8.4	10	85	50.1	0.9	28	33
136	99	1.0	11.5	12	91	65	0.4	16	39
35	81.6	0.9	13	15	165	62	0.5	18	39
163	37	1.2	18	15	124	46	0.7	28	40
148	106	0.6	10	16	164	36	1.2	51	43
26	160.5	0.3	5.1	17	59	135.4	1.0	43	44
139	58	1.5	27	18	140	82	0.8	34	45
39	71.4	0.3	5.1	19	92	43.8	0.5	28	59
63	196	0.3	6.1	20	ЖМК	42	2.7	40	15
138	46	1.5	32	21	PMK	73	1.1	10	8.8
Погрешность		20%	40%	45%	Погрешность		20%	40%	45%

Примечание. В образце 153 присутствуют также NV и NV₂-центры с концентрацией 10^{15} см^{-3} . Для сравнения приведены данные по двум алмазам – PMK и ЖМК из китайского месторождения Тоудаогуо (Юшкин, Макеев, 1996).

габитус кристаллов – с другой. В результате анализа однозначные корреляционные связи между параметрами ЭПР и какими-нибудь кристалломорфологическими признаками не установлены.

Кривые распределения алмазов по концентрациям Р1 и Р2 парамагнитных центров характеризуются резким подъемом к наиболее вероятным значениям и затянутым спадом к большим концентрациям (рис. 19). Со стороны высоких концентраций дефектов на этих кривых обнаруживаются осложняющие монотонный спад особенности. Кристаллов с максимальными содержаниями тех и других центров оказалось достаточно много (3–5 % от общего количества) для проявления дополнительного максимума на кривых распределения.

В средней части кривая распределения алмазов по содержанию Р2 центров близка к логнормальному закону, а по концентрациям Р1-центров – к нормальному закону. Вследствие этого кривая распределения алмазов по отношению концентраций Р2- и Р1-центров имеет бимодальный характер с двумя четкими максимумами при $C_{P2}/C_{P1} = 10$ и 30. Отметим, что спектры ЭПР кристаллов, формирующих первый максимум на кривой распределения, характеризуются преобладанием по интенсивности линий Р1-центров, а спектры алмазов, образующих второй максимум – преобладающим вкладом Р2-центров. В табл. 11 образцы располагаются в порядке возрастания отношения C_{P2}/C_{P1} . Поскольку оно отражает степень агрегации азота (Минеева, Бершов и др., 1996), то можно заключить, что бимодальный характер распределения этого параметра свидетельствует о наличии хотя бы двух генотипов алмазов в среднедевонском промежуточном коллекторе, различающихся параметрами посткриSTALLИЗАционных процессов трансформации структурных дефектов.

5.4. Оптическое поглощение алмазов

Энергетические уровни примесей и собственных дефектов структуры алмаза лежат глубоко в запрещенной зоне, а электронные состояния являются сильно локализованными, и их оптическая активность обусловлена внутрицентровыми переходами. Последние формируют в оптических спектрах системы из узкой бесфононной линии и ряда полос фононных повторений, простирающихся в оптическом поглощении на низкоэнергетическую, в спектрах люминесценции на высокоенергетическую спектральную область.

Спектры оптического поглощения кристаллов алмазов нами изучались на абсорбционном спектрофотометре Specord UV-VIS при комнатной температуре. Для каждого кристалла при различной его ориентации относительно пучка света записывалось 3–5 спектров, которые в

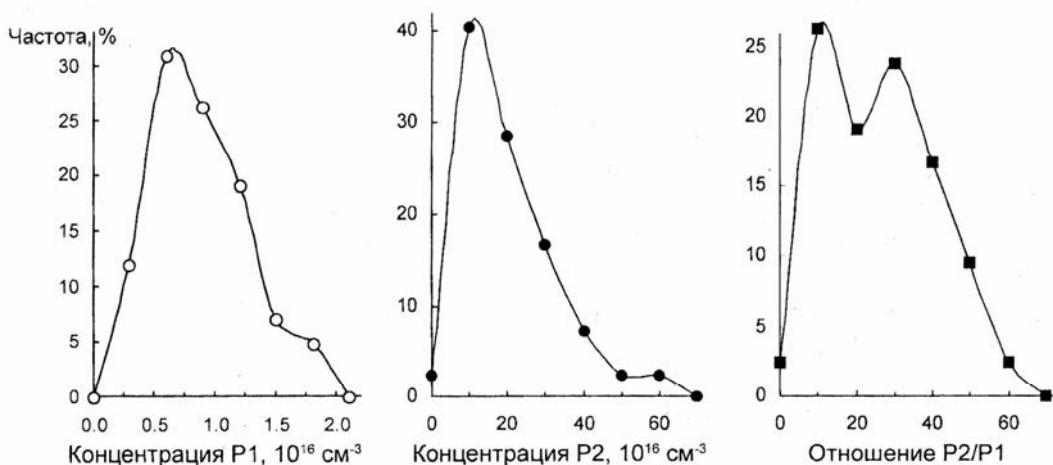


Рис. 19. Кривые распределения алмазов Среднего Тимана по содержанию в них Р1-, Р2-центров и отношению концентраций этих центров. Количество исследованных методом ЭПР алмазов – 42.

далнейшем усреднялись. Используемая аппаратура не позволяла регистрировать поглощение очень мелких и замутненных по различным причинам кристаллов. Всего нами было изучено 33 кристалла. В зарегистрированных спектрах оптического поглощения алмазов четко выделяются узкая бесфононная линия 415 нм N3-системы и ее уширенные моды фононных повторений в области 350–400 нм (рис. 20). Во многих образцах зарегистрированы также сопутствующие им системы N2 и N4 с соответствующими бесфононными линиями при 478 и 344 нм. В длинноволновой области спектров большинства образцов присутствуют также широкие полосы в диапазоне 470–510, 510–590 и 590–650 нм.

Исследуемые образцы характеризуются тремя типами спектров оптического поглощения. Спектры I типа характеризуются тем, что в нем преимущественно присутствуют N2-, N3- и N4-системы, связанные с одним и тем же дефектом – тремя атомами азота, замещающими три атома углерода и вакансии, Р2-центрами по радиоспектроскопической классификации. Спектр такого типа имеет примерно четвертая часть всех исследованных кристаллов (табл. 12).

В спектрах II типа помимо вышеуказанных систем присутствуют широкие полосы в диапазоне 470–510, 510–590, 590–650 нм. Возможно, эти широкие полосы связаны с дефектами типа замещающие атом азота – вакансия углерода. Полоса поглощения в области 470–510 нм может быть отнесена к Н3- и Н4 - центрам, обуславливающим системы с бесфононными линиями соответственно при 503 и 496 нм (Вечерин и др., 1997). В одном из кристаллов (№ 58) бесфононная линия Н3-центра весьма отчетливо проявляется на фоне широкой полосы (рис.20). Длинноволновые полосы связаны с комплексами типа $I_{N<100>}V$ (575 нм) и NV⁺ (638 нм) (Вечерин и др., 1997). Алмазы с таким типом спектра образуют самую многочисленную группу (табл. 12).

Спектры оптического поглощения III типа отчетливых полос поглощения не содержат. Обнаружено только два алмаза с таким спектром № 39 и 53 (табл. 12).

Концентрация N3-центров может быть оценена по интенсивности бесфононной линии 415 нм в спектре поглощения с помощью формулы Е.В.Соболева (Вечерин и др., 1997): $N_{N3} = 2 \cdot 10^{17} \cdot a_{415} [\text{см}^{-3}]$, где $a_{415} = 1/d \cdot \ln(I_0/I)$ – коэффициент поглощения в линии 415 нм, d – эффективная толщина образца в сантиметрах. Величина d нами принималась равной ребру алмазного куба, вес которого равен весу, исследуемого кристалла. Очевидно, что таким методом может быть получена очень грубая оценка концентраций N3-центров. С одной стороны, оптические спектры поглощения удалось получить далеко не для всех имеющихся в нашем распоряжении кристаллов, с другой стороны, практически для всех кристаллов были получены спектры люминесценции, по которым тоже, как будет показано ниже, можно оценить содержание N3-центров. Поэтому сведения по концентрациям этих центров, рассчитанные по спектрам оптического поглощения, здесь не приводятся.

5.5. Люминесценция алмазов

Фотолюминесценция алмазов возбуждалась излучением в линии 365 нм ртутной лампы ДРШ-250, фильтрованным двойным монохроматором ДМР-4. Запись спектра фотолюминесценции производилась с помощью монохроматора SPM-2, ФЭУ-106. Спектры были получены

Таблица 12
Типы спектров оптического поглощения в алмазах Среднего Тимана

Тип спектра (описание в тексте)	Номера кристаллов
I	8, 51, 59, 63, 91, 95, 96
II	1, 2, 3, 5, 21, 22, 24, 26, 53, 33, 35, 41, 52, 57, 58, 80, 81, 83, 85, 86, 88, 90, 92, 94, 97
III	39, 31,

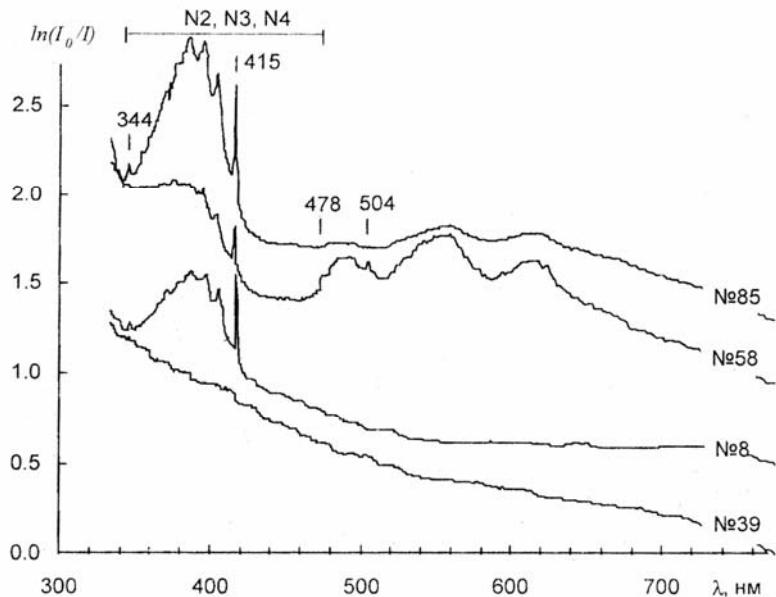


Рис. 20. Спектры оптического поглощения кристаллов алмазов Среднего Тимана.

при комнатной температуре образца и при температуре кипения жидкого азота. Коррекция спектра на спектральную чувствительность установки не проводилась. Спектры фотолюминесценции части кристаллов были записаны на рентгенолюминесцентной установке, свечение алмаза в которой осуществлялось выделенным светофильтром излучением в линии 365 нм ртутной лампы ДРК-120. Съемка образцов осуществлялась только при комнатной температуре, но проводилась коррекция спектра на спектральную чувствительность аппарата. Методом фотолюминесценции всего было изучено 87 кристаллов, из них 42 при комнатной температуре и температуре кипения жидкого азота.

В целом образцы характеризуются голубой фотолюминесценцией разной интенсивности. Два алмаза № 31 и 38 люминесцировали зеленым излучением, один (№ 81) – оранжевым. У кристалла № 58 свечение было чрезвычайно слабым, а у № 39 оно вообще не зарегистрировалось. Отметим, что в спектре поглощения образца 39 какие-либо полосы поглощения в видимом диапазоне спектра также не обнаружены (табл. 12), и этот кристалл обладает самым низким содержанием парамагнитных центров (табл. 11).

В спектрах фотолюминесценции практически всех алмазов, записанных как при комнатной температуре, так и при 80К, присутствует система линий N3-дефектов. Она представлена серией пиков: бесфононной линией 415.5 ± 0.3 нм и модами фононных повторений в области 428.7 ± 0.7 , 438.8 ± 0.5 и 451 ± 0.5 нм (рис. 21). Изредка в желто-зеленой области спектров фотолюминесценции при комнатной температуре фиксируется относительно широкая полоса (510–520 нм). При температуре кипения жидкого азота в ряде случаев она расщепляется на отдельные компоненты, типичные для H3- и H4-систем с бесфононными линиями соответственно при 503 и 496 нм. Встречаются образцы, имеющие в спектрах люминесценции в дополнение к N3-системе только одну H3-систему или обе H3- и H4-системы. Классификация алмазов по типам спектров люминесценции приведена в табл. 13.

Наличие количественных данных по N3-центрам в алмазах, полученных методом ЭПР, позволяет проанализировать концентрационные зависимости интенсивности и характера люминесценции. С ростом концентрации N3-центров их свечение в спектрах фотолюминесценции в общем тоже возрастет, однако интенсивность бесфононной линии увеличивается в меньшей степени, чем у фононных повторений, что обусловлено перепоглощением излучения только в бесфононной компоненте спектра (рис. 16). То есть для соотношения интенсив-

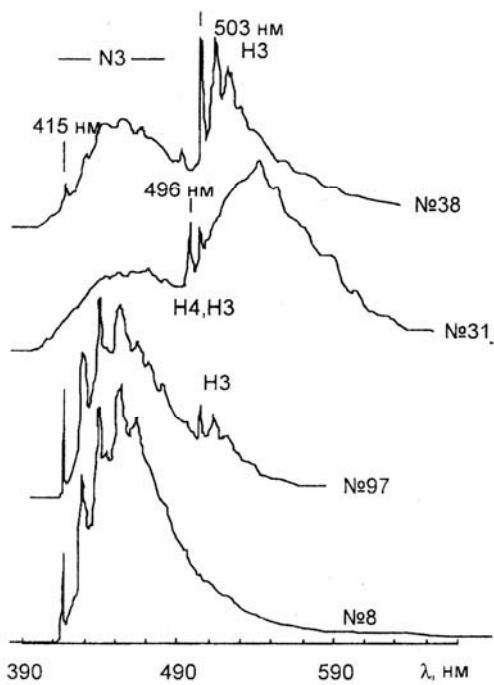


Рис. 21. Спектры фотолюминесценции кристаллов алмаза Среднего Тимана, полученные при температуре образца 80К, возбуждение – 365 нм. Слева – номера образцов. Коррекция на спектральную чувствительность аппаратуры не производилась.

ностей бесфононной и фононных линий наблюдаются концентрационно-зависимые вариации эмиссионно-реабсорбционной природы, отмеченные ранее М.Л.Гафтом (Gaft, 1994) и в дальнейшем изученные нами на примере кристаллов месторождения Ичетью (Лютов, Глухов, Макеев, 1999; Лютов, Глухов, Макеев и др., 1999).

При регистрации спектра люминесценции выдерживать одинаковые условия записи для различных образцов практически невозможно, поэтому интенсивность свечения зависит не только от концентрации центров свечения, что существенно затрудняет прямое использование люминесценции для количественных оценок концентраций

дефектов. На рис. 22 хорошо видно, что с ростом содержания N3-центров интенсивность бесфононной линии относительно фононных повторений пропорциональна. Таким образом, относительный вклад излучения бесфононной линии в общее свечение N3-центров обратно пропорционален их содержанию, что как раз может быть использовано для численных люминесцентных оценок концентрации дефектов. Более точно аналогичный подход реализуется при рентгенолюминесценции (Лютов, Глухов, Макеев и др., 1999).

Спектры рентгенолюминесценции были получены при комнатной температуре, аппаратурные условия съемки спектров люминесценции алмазов: монохроматор AAS-1 (Carl Zeiss); рентгеновское возбуждение – УРС-1,0 (трубка БСВ-2, Fe-антикатод, 50 кВ, 14 мА), ультрафиолетовое возбуждение – линия 365 нм ртутной лампы ДРК-120; регистрация излучения – ФЭУ-106, самописец КСПП-4.

В спектрах РЛ всех алмазов (79 образцов) было зарегистрировано интенсивное излучение широкой А-полосы с максимумом в голубой спектральной области 440–460 нм (рис. 23). Эта люминесценция, как известно, является хорошим диагностическим признаком алмаза и успешно используется в технологических линиях сепарации (Бахтин, Горобец, 1992; Smith, Sorokin, Gelles et al., 1959). Предполагается, что А-полоса люминесценции вызвана электронными переходами в системе “оборванная связь (ненасыщенные радикалы) – трехвалентный

Таблица 13
Центры фотолюминесценции алмазов при 80К

Центры свечения	Номера кристаллов	Количество кристаллов	Доля, %
Нет свечения	39, 58	2	5
N3	1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 21, 22, 24, 26, 33, 35, 41, 50, 51, 52, 57, 59, 63, 78, 80, 83, 85, 87, 88, 90, 91, 95, 96	30	71
N3+H3	38, 56, 81, 86, 94, 97	6	14
N3+H3+H4	4, 19, 31, 92	4	10

Примечание. Жирным шрифтом выделены номера образцов, в спектрах которых свечения полос H3- и H4- систем интенсивнее, чем у полос N3-системы. В остальных случаях доминируют полосы N3-центров.

Рис. 22. Концентрационные вариации спектров фотолюминесценции (300К) N3-дефектов в алмазах месторождения Ичетью. Все кривые нормированы на интенсивность фононной полосы.

атом азота" (Вечерин и др., 1997). На фоне "бесструктурной" А-полосы в спектрах РЛ часто отмечают электронно-колебательные моды, которые относят к проявлениям различных примесных и радиационных дефектов. И.Н.Рамачандран (Ramachandran, 1946) также обнаружил, что на фоне широкой полосы рентгенолюминесценции проявляется узкий провал, соответствующий реабсорбции излучения в бесфононной линии 415 нм N3-системы. В спектрах рентгенолюминесценции среднетитановых кристаллов алмаза (рис. 23) зарегистрированы узкие провалы, которые обусловлены реабсорбцией оптического излучения N3-центрами (415 нм), N3-центрами (503 нм) и, возможно, другими дефектами (475–480, 440 нм).

Интенсивность как рентгенолюминесценции, так и фотолюминесценции существенно зависит от размеров, формы, свойств поверхности анализируемых кристаллов. Иногда отмечаются заметные отличия спектров люминесценции, зарегистрированных с разных граней кристалла, что скорее всего указывает на неоднородность внутреннего строения этих индивидов. Частично это учитывалось путем усреднения спектров люминесценции, снятых при различных ориентировках кристаллов.

Так как прямое применение значений интенсивности люминесценции для характеристики кристаллов затруднено, мы использовали параметры спектров, получаемые как отношение

интенсивностей излучения в одном спектре. Для определения интенсивности реабсорбции в бесфононной линии N3-системы, проявляющейся в спектрах рентгенолюминесценции, использован коэффициент, аналогичный вычисляемому по спектрам оптического пропускания (рис. 23). Сопоставление рассчитанных таким образом коэффициентов реабсорбции N3-центров с концентрацией P2-центров, измеренных методом ЭПР, показало прямо пропорцио-

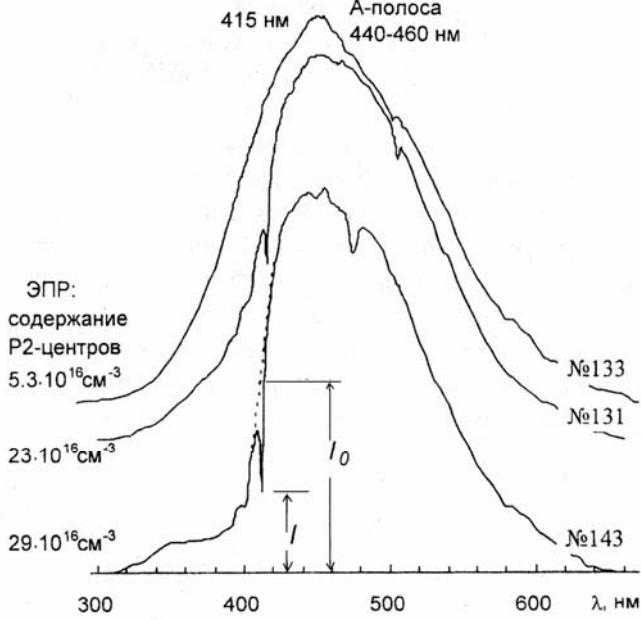
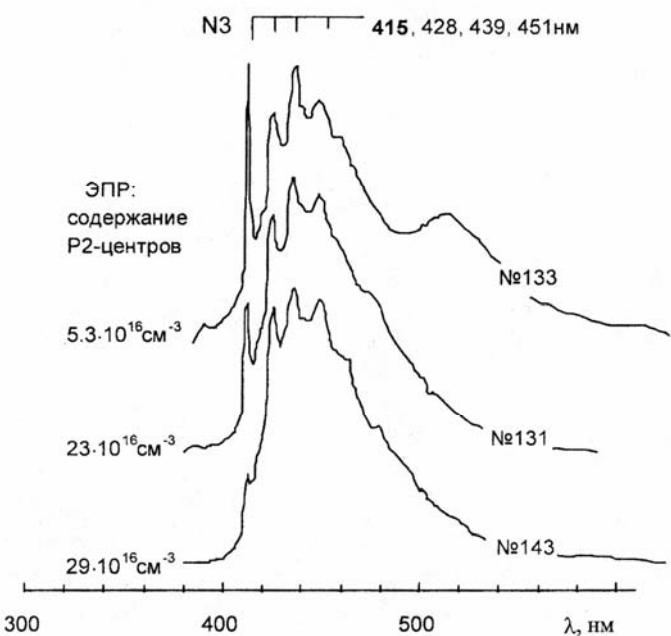


Рис. 23. Спектры рентгенолюминесценции алмазов месторождения Ичетью. Произведена корректировка на спектральную чувствительность регистрирующей аппаратуры.

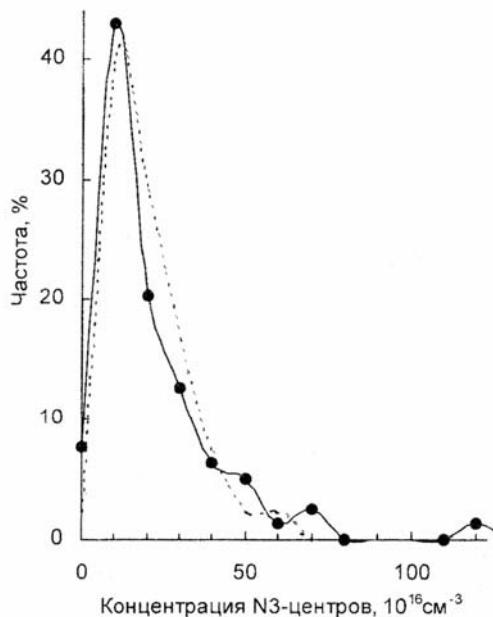


Рис. 24. Распределение алмазов Среднего Тимана по содержанию в них N3-центров (сплошная линия с маркерами, 79 образцов). Для сравнения пунктиром показано распределение алмазов по содержанию этих же центров, полученное с помощью метода ЭПР (количество исследованных алмазов – 42).

нальную зависимость между ними. Детальное изложение методики приводилось нами ранее (Лятоев, Глухов, Макеев и др., 1999), там же было обосновано следующее выражение для прогнозной оценки концентрации N3-центров по спектрам рентгенолюминесценции алмаза: $C_{P2} = (2.0 \pm 0.3) \cdot 10^{17} \text{ а}$, где а выражается в см^{-1} , а концентрация центров – в см^{-3} . Найденный нами коэффициент совпадает с полученным Е.В.Соболевым (Вечерин и др., 1997) пересчетным коэффициентом для оценки концентрации центров по спектрам оптического поглощения. Отметим, что

предлагаемый вариант годится лишь для приближенной оценки концентрации данных дефектов, зато он прост в реализации и характеризуется низким порогом обнаружения. Кроме того метод рентгенолюминесценции менее зависим от размеров и качества кристаллов в сравнении со спектроскопией оптического поглощения и ЭПР, что позволяет изучить более широкие коллекции алмазов и даже мелкие осколки.

Так, если методом ЭПР концентрацию центров удалось определить в 42 образах, спектроскопией оптического поглощения в 33, то с помощью изложенного метода по рентгенолюминесцентным спектрам была оценена концентрация N3-центров в 79 образцах, т. е. практически во всех имеющихся в нашем распоряжении кристаллах. Содержание центров в алмазах достигает $12 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, среднее содержание близко к определенному методом ЭПР – $1.6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ($\sigma = 0.6 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$). Кривая распределения алмазов по содержаниям центров аналогична кривой, полученной по данным ЭПР (рис. 24). Почти двукратное увеличение числа проанализированных кристаллов по сравнению с другой нашей работой (Лятоев, Глухов, Макеев, 1999), в которой приведены данные лишь 40 кристаллов алмаза из карьера № 100 месторождения Ичетью, привело к усилению основного максимума и появлению дополнительных максимумов в области высоких концентраций. Выявлены выборка (около 5 %) "аномальных" кристаллов с высокой концентрацией азотных дефектов.

Таким образом, спектроскопические исследования показали, что алмазы из месторождений Среднего Тимана в основном относятся к Ia типу физической классификации, содержание азотных дефектов в основной массе кристаллов низкое, но встречаются образцы с повышенными и высокими содержаниями примесей. По качественному составу дополнительных азотных дефектов и, как было показано ранее, по содержанию основных A-дефектов (Ю.А.Клюев, 1988 г.) алмазы характеризуются бимодальным распределением. Возможная причина такого распределения кроется в наличии хотя бы двух генотипов алмазов в среднедевонских промежуточных коллекторах Среднего Тимана, различающихся, например, параметрами посткриSTALLИЗационных процессов трансформации структурных дефектов.

ГЛАВА 6. МИНЕРАЛЫ-СПУТНИКИ АЛМАЗОВ

Главные минералы-спутники алмаза – диопсид, хромшпинелиды, пироп и пикроильменит – имеют очень широкое распространение в терригенных отложениях Среднего Тимана разного возраста, определяя в целом высокие перспективы территории на коренную алмазоносность. Сквозной характер нахождения минералов-спутников во многих современных водотоках и промежуточных коллекторах не позволяет напрямую использовать их в поисках коренных источников. И скорее всего поэтому они не стали еще “прямой дорожкой” к открытию коренных месторождений алмазов. Видимо, здесь еще предстоит большая работа по выявлению новых минералогических поисковых критериев.

Проведено сопоставление составов минералов-спутников алмазов (в основном гранатов и хромшпинелидов) из трех алмазоносных провинций европейской части России. Для этого все анализы пересчитывались на формульные коэффициенты и миналы по оригинальной методике и наносились на стандартные диаграммы. Материалом для сравнения послужили: 1) имеющиеся в отчетах Ухтинской ГРЭ микрозондовые анализы минералов-спутников, собранные Л.П.Бакулиной на Среднем Тимане, а также авторские анализы; 2) монофракции хромшпинелидов и пиропов из туффизитов Рассольниковского месторождения алмазов Виннерского района, полученные на исследование от профессора Б.М.Осовецкого (ПГУ, г. Пермь), проанализированные на микрозонде в Институте геологии КНЦ УрО РАН; 3) микрозондовые анализы минералов-спутников из кимберлитовых трубок Зимнего Берега, выполненные Т.Е.Щербаковой (ЦНИГРИ). Составы минералов-спутников (хромшпинелидов, пироп-альмандинов, пиропов с кноррингитом и др.) из гравелитов Ичетью и Вишерского района весьма сходны и образуют общие поля на диаграммах. И наоборот, среднетиманские минералы-спутники из гравелитов Ичетью сильно отличаются от таковых из алмазоносных кимберлитовых трубок Зимнего Берега Архангельской области.

Минеральный состав шлиха среднедевонских гравелитов месторождения Ичетью весьма пестрый, в нем преобладают минералы титана - ильменит, ильменорутил, рутил, лейкоксен. Другую часть составляют редкометалльные минералы - циркон, колумбит, монацит, куларит. Породообразующие метаморфические минералы представлены красным и оранжевым гранатом, ставролитом, магнетитом, гематитом. Очень редки минералы-спутники алмаза пироп-альмандин (с кноррингитовым миналом), хромшпинелиды, хромдиопсид, пикроильменит. Платиноиды отсутствуют. Золото в гравелитах в основной массе относится к мелкому классу 0.1–0.25 мм, встречаются редкие мелкие самородочки до 2–3 мм в срастании с кварцем и пиритом, зерна пластинчатые и торOIDальные. Золото высокопробное (940–995 %), серебристое, ртуть и медь отсутствуют.

Состав хромшпинелидов из среднедевонских гравелитов Ичетью отличается от всех генотипов Тимана низким содержанием окисного железа и представлен тремя разновидностями: хромитом, алюмохромитом и хромпикотитом (рис. 25). Такой состав хромшпинелида типоморfen кимберлитовому парагенезису, а также неметаморфизованным или слабо метаморфизованным (в зеленосланцевую фацию) альпинотипным ультрабазитам. Наиболее часто встречающаяся разновидность хромшпинелида (рис. 26) в кимберлитовых трубках Вымской гряды – субферриалюмохромит (Бакулина, 1985). Хромшпинелиды такого состава наиболее близки генотипу расслоенных ультрабазитов. В этой связи трудно предположить, что хромшпинелиды из трех известных кимберлитовых трубок Вольско-Вымской гряды служили коренным источником для гравелитов месторождения Ичетью.

А вот гранаты (пироп-альмандин) и хромдиопсид из кимберлитовых трубок и ичетьюских гравелитов практически не отличаются по составу. Часть гранатов (20–30 %) из кимберлитовых трубок так же как и небольшая часть гранатов из палеороссыпи содержат кноррингитовый минал от 0.5 до 15 %, а значит отвечают алмаз-пироповой фации глубинности.

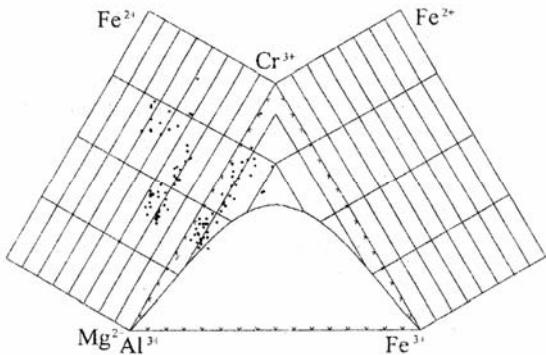


Рис. 25. Фигуративные точки составов хромшипелидов из гравелитов месторождения Ичетью.

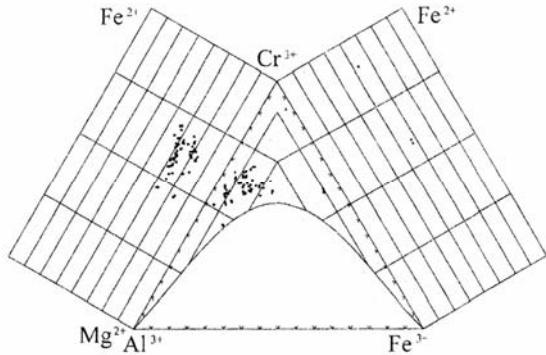


Рис. 26. Фигуративные точки составов хромшипелидов из кимберлитов Умбинской трубы.

С алмазами, их минералами-спутниками и золотом в тяжелой фракции шлиха ассоциируются редкоземельные и редкометалльные минералы, которые сами по себе представляют здесь промышленный интерес. Наиболее примечательны и наименее до сих пор изучены в палеороссыпи редкометальные минералы. Нами исследованы составы двух ниобиевых минералов – колумбита и ильменорутила, а также циркона и монацита.

Колумбит показал широкий изоморфизм между железом (7.67–18.09 % FeO) и марганцем (2.77–12.92 % MnO), большое количество основного компонента (76.66–78.55 % Nb₂O₅), содержит примесь TiO₂ (0.86–2.05 %) и следы тантала (до 0.02 %). Ильменорутил также имеет переменный состав (Fe_xTi_{3-3x}Nb_{2x}O₆): FeO – 2.63–7.75; Nb₂O₅ – 7.96–23.33; TiO₂ – 68.90–89.40; MnO и Ta₂O₅ – следы до 0.02 %. В цирконе заметных примесей не обнаружено. Зато редкоземельный минерал монацит кроме церия (Ce₂O₃ – 31.42–34.35) содержит заметные количества еще четырех лантаноидов: La₂O₃ – 15.24–25.24; Nd₂O₃ – 5.73–14.88; Sm₂O₃ – 0.46–3.15; Gd₂O₃ – 0.01–1.96 %, а также торий от 0.1 до 12 %; в анионной части присутствует фтор (1.25–1.33 %). Монацит близок по составу к монациту из девонских песчаников Джеким-Пармы, а также из кор выветривания древних протерозойских пород Немского поднятия.

Выход редкоземельно-редкометальных минералов в тяжелой фракции песков девонской россыпи Ичетью значителен (1–2 кг/м³) и может вполне составить предмет собственной добычи.

Сборный характер полезных компонентов в гравелитах очевиден. Ниобиевые минералы могли быть привнесены из карбонатитов, выходы которых известны на Четласском Камне. Связь золота с кварцевыми жилами с пиритом в протерозойских глинистых сланцах Вольско-Вымской гряды ни у кого не вызывает сомнений. Монацит и куларит широко распространены в разновозрастных терригенных отложениях Тимана, коренной их источник пока не ясен. Титановые минералы в еще более высоких концентрациях (до 14 %) известны в нижележащей терригенной малоручейской свите. Источник алмазов еще не установлен, хотя нельзя полностью исключить размыт пока неизвестных кимберлитовых трубок Вымской гряды. В настоящей работе мы не стали акцентировать внимание на всех особенностях минералов-спутников алмазов, обнаруженных в гравелитах месторождения Ичетью и Среднего Тимана в целом, надеясь посвятить этой теме отдельную работу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты комплексных исследований большой коллекции алмазов Среднего Тимана, полученные с помощью современных минералогических методов, анализ представлений об условиях нахождения алмазов в природе, сведения о составе минералов-спутников позволяют высказать некоторые суждения о возможных коренных источниках среднетиманских алмазов и предложить направления дальнейших поисковых работ.

Россыпное поле Ичетью находится на северном окончании Вольско-Вымской гряды, располагаясь в виде удлиненной на северо-запад полосы 6×15 км. На западе поле Ичетью ограничивается глубинным разломом предположительно верхнепермского возраста. По данным поисковых работ продуктивность пласта среднедевонских гравелитов пижемской свиты по алмазам падает с юга на север и с запада на восток. Наиболее богатые участки залегают в виде трех “струй” северо-восточного простирания шириной 300–500 м и длиной 1.5–4.5 км. Такое строение палеороссыпи в виде “струй” принимается геологами за русла древних девонских рек. Положение “палеорек” предполагает северо-восточный снос терригенного материала. Однако, слабо окатанные обломки глинистых сланцев “полосатиков” и кварцитов, похожих по облику и составу на верхнепротерозойские породы вымской серии, найденные нами в последнее время в базальных частях среднедевонских гравелитовых и конглобрекчевых пластов пижемской свиты, говорит о возможном южном сносе терригенного материала и полезных компонентов. Кроме того обогащенные алмазами “струи” гравелитов и конглобрекций, располагающиеся в виде лесенки, можно трактовать как локальные понижения в рельфе, вызванные системой малоамплитудных поперечных разломов.

Среднетиманские алмазы относятся к кривогранным кристаллам уральского-бразильского типа со следующим соотношением основных габитусных форм: псевдотетрагексаэдров (кубоидов) – 61 %; комбинационных (октаэдроидов), где в сочетании с псевдотетрагексаэдрами (065) распространены псевдотригонтиоктаэдры (167), псевдотригонексаоктаэдры (365) и октаэдры (111) – 19 %; остальных индивидов (недиагностируемых обломков и двойников) – 20 %. Полностью отсутствуют псевдоромбододекаэдры и крайне редки плоскогранные формы. Хотя многие исследователи, визуально сравнивающие кристалломорфологические особенности среднетиманских и вишерских кристаллов алмазов, отмечают их полную идентичность, большая часть кристаллов вишерских месторождений определены как псевдоромбододекаэдры, а среднетиманский морфотип алмазов относится к кривогранным кубооктаэдрам с устойчивым преобладанием кубоидов. Такой морфотип в литературе неизвестен. Мы предполагаем, что при описании кривогранных кристаллов других регионов по методике Ю.А. Орлова все псевдотетрагексаэдры, возможно, относились к додекаэдроидам. Из-за этого существует некоторая неопределенность при сравнении таблиц статистических данных по кристалломорфологии алмазов из разных месторождений.

Средний вес алмазов из гравелитов месторождения Ичетью оценивается в 52.6 мг при вариациях веса отдельных кристаллов от долей до 446 мг, причем распределение имеет логнормальный характер. Очень мелкие кристаллы отсутствуют. Налицо высокая сортировка алмазов из девонских гравелитов, что может указывать на близость их первоисточника. Для сравнения: средний вес алмазов из коренных кимберлитовых трубок Якутии (например, трубки “Мир”) приближается к 10 мг, а в ближайшем россыпном месторождении “Водораздельные галечники”, первоисточником которого была сама трубка “Мир”, кристаллы более высокого качества, они отсортированы, средний вес их значительно выше чем в трубке (Харьков, Зинчук, Зуев, 1997).

Значительная часть алмазов водяно-прозрачные чистой воды, но встречаются и бледно-желтые, бледно-зеленые, коричневые, стально-серые кристаллы. В некоторых карьерах возрастает доля зеленых кристаллов. Многие кристаллы имеют точечные близповерхностные желтые, коричневые и наиболее распространенные зеленые пигментные пятна. Считается,

что пигментация алмазов обусловлена облучением их в гравелитовых пластах, где они длительное время (сотни миллионов лет) находились совместно со слабо радиоактивным монацитом, содержащим от 0.1 до 12 % ThO₂.

Большинство алмазов относится к ювелирным сортам высокой стоимости, по качеству не уступающим алмазам вишерских месторождений, и таких кристаллов по количеству – 75 %, а по весу – более 90 %.

Только небольшой процент кристаллов алмазов (3 %) имеют сглаженные ребра, серповидные отметины на гранях, которые принято интерпретировать как следы длительного пребывания в водном потоке.

Спектроскопические исследования выявили, что основная часть кристаллов люминесцирует голубым цветом, и только два кристалла обладают зеленым и один оранжевым свечениями. Два кристалла не люминесцировали вообще. Оценка концентрации азотных центров спектроскопическими методами показала, что большинство алмазов из месторождений Среднего Тимана относятся к Ia типу физической классификации, содержание азотных дефектов в основной массе кристаллов низкое, но часть образцов (5 %) обладает повышенными и высокими содержаниями примесей.

Выявлен следующий видовой состав азотных центров: A, B₁, B₂, C(P1) N2, N3(P2), N4, NV, NV₂, H3, H4, S2, S3, GR1. Среди них наиболее распространен азотный центр N3(P2). Прямая зависимость между параметрами ЭПР и какими-нибудь кристалломорфологическими признаками корреляционным анализом не установлена.

По качественному составу дополнительных азотных дефектов алмазы характеризуются бимодальным распределением. Возможная причина такого распределения кроется в наличии не менее двух генотипов алмазов в среднедевонских промежуточных коллекторах Среднего Тимана, различающихся, например, параметрами посткриSTALLизациионных процессов трансформации структурных дефектов. То есть часть кристаллов могла испытать дополнительный прогрев, что способствовало агрегации азотных центров.

Очень важные результаты получены при исследовании состава поверхностных включений, примазок и металлических пленок на среднетиманских алмазах. Среди включений и примазок выявлены графит, флогопит, хлорит, титаномагнетит, рутил, ильменит, оливин, антофиллит-асбест, коэсит (?), пироп-альмандин, неодимовый перовскит, стронциево-редкоземельный алюмо-сульфато-фосфат TR,Sr-Al[(P,S)O₄] ряда саффлорита-флоренсита, шеелит, сапонит, каолинит, гидрослюдя, (K,Na)Cl. Обращает на себя внимание то, что примазки и включения на алмазах образованы минералами глубинного эклогитового парагенезиса, минералами лампроитового мезостазиса и гипергенными минералами кор выветривания по кимберлитам или лампроитам (Беляев, 1999). Среди минералов-примазок на алмазах велика доля высококалиевых минералов, которые являются породообразующими минералами ультращелочных основных пород. Состав хлорита, титаномагнетита и некоторых других минералов из примазок на алмазах совпадает с составом этих же породообразующих минералов из недавно открытой в пределах месторождения Ичетью трубкой Сидоровской (Макеев, Рыбальченко, Дудар, Шаметько, 1999). Все это приводит к заключению о генетической связи среднетиманских кривогранных алмазов с первичным эклогитовым мантийным парагенезисом и лампроитовым типом вулканизма.

Впервые на алмазах обнаружены тонкие металлические пленки четырнадцати видов: Au, Ag, Au₃Ag, Au₂Pd₃, Fe, Fe₃Cr, Fe₃Cr₂Ni, Ti, Pb, Sn, Bi, Cu₃Sn, Cu₃Zn₂, Ta. Из этого открытия можно сделать несколько очень важных генетических выводов. Наличие пленок самородных металлов на алмазах раскрывает механизм природного алмазообразования - рост из раствора в расплаве металлов. Значит, кривогранный габитус кристаллов алмаза уральско-бразильского типа является формой роста, а не растворения. Металлические пленки являются мембранными, через которые осуществляется как синтез алмаза из углеродистых фаз, так и травление поверхности кристаллов. Составы металлических пленок на природных алмазах могут быть использо-

зованы для создания новых рецептур шихты для синтеза искусственных алмазов. Часть самородных металлов и интерметаллидов этих пленок (Ti , Ta , Au_2Pd_3 , Fe_7Cr_2Ni и др) – это новые природные фазы, возможно, новые самородные минералы.

Обнаружение однотипных металлических пленок на кристаллах алмазов из месторождения Ичетью (Вольско-Вымская гряда) и из аллювия р. Косью (Четласский камень), в том числе золото-пallадиевых, убедительно подтверждает высказанное ранее предположение о сходстве генотипов этих проявлений и о возможном размытии на Четласском Камне средневековых депрессий.

Состав минералов-спутников, ассоциирующих с алмазами в гравелиг-конглобрецияхом пласте нижнемской свиты (пироп-альмандин, амфибол-чермакита, высокоглиноземистых хромшпинелидов и др.), также свидетельствует об эклогитовом первичном мантийном парагенезисе и об отсутствии связи алмазов с уже выявленными в пределах Вольско-Вымской гряды тремя кимберлитовыми трубками девонского возраста.

Таким образом, результаты проведенных исследований алмазов, обобщение материалов по геологическому строению россыпного поля Ичетью, в пределах Вольско-Вымской гряды Среднего Тимана, обнаружение здесь же в последнее время проявления ультракалиевого магматизма (трубки Сидоровской), совпадение составов породообразующих минералов трубы и примазок минералов на поверхности кристаллов алмазов - все это в комплексе позволяет высказать предположение о связи коренной алмазоносности с лампроитовым вулканализмом. Поиски коренных первоисточников следует сосредоточить как на площади развития пород девонского возраста самого поля Ичетью, так и южнее его, в поле развития древних верхнепротерозойских пород.

ЛИТЕРАТУРА

- Бакулина Л.П.* Типоморфизм минералов мантийных ассоциаций на Среднем Тимане: Автореф. дис....канд. г.-м. наук.- Свердловск, 1986.- 18 с.
- Бахтин А.И., Горобец Б.С.* Оптическая спектроскопия минералов и руд и ее применение в геологоразведочных работах.- Казань: Изд-во КГУ, 1992.- 234 с.
- Беляев В.В.* Дофранская кора выветривания на диатремах Среднего Тимана // Геология европейского севера России. Сб. №3.- Сыктывкар, 1999.- С. 92–102. (Тр. Ин-та геологии Коми науч. центра УрО Российской академии наук; Вып. 100).
- Белименко Л.Д., Петровский В.А., Самойлович М.И.* Типоморфизм алмазов Северного Тимана // Золото, платина и алмазы Республики Коми: Матер. Всерос. конф.- Сыктывкар, 1998.- С. 143.
- Бовкун А.В., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П. и др.* Алмазы из россыпей Тимана: морфология, спектроскопия, генезис // Там же.- С. 141–142.
- Бовкун А.В., Гаранин В.К., Майбородский П.Г. и др.* Особенности кристаллов алмаза Беломорья, Тимана, Северной Якутии и их генезис // Минералогический журнал.- 1996.- Т. 18.- № 4.- С. 44–55.
- Бокий Г.Б., Безруков Г.Н., Клюев Ю.А. и др.* Природные и синтетические алмазы.- М.: Наука, 1986.- 224 с.
- Вечерин П.П., Журавлев В.В., Квасков В.Б. и др.* Природные алмазы России: Научно-справочное издание.- М.: Полярон, 1997.- 304 с.
- Горшков А.И., Титков С.В., Сивцов А.В. и др.* Первые находки самородных металлов Cr, Ni и α-Fe в карбонадо из алмазных месторождений якутии // Геохимия.- 1995.- № 4.- С. 588–591.
- Горшков А.И., Титков С.В., Сивцов А.В. и др.* Редкоземельные минералы в карбонадо из якутских алмазных месторождений // Геохимия.- 1996.- № 6.- С. 1–6.
- Джейкс А., Луис Дж., Смит К.* Кимберлиты и ламироиты Западной Австралии.- М.: Мир, 1989.- 430 с.
- Дудар В.А.* Рассыпи Среднего Тимана // Руды и металлы.- 1996.- № 4.- С. 80–90.
- Дудар В.А., Макеев А.Б.* Структурно-тектоническая модель рудообразования и геоморфологические условия формирования россыпей Среднего Тимана // Геология европейского севера России. Сб. №3.- Сыктывкар, 1999.- С. 108–120. (Тр. Ин-та геологии Коми науч. центра УрО Российской академии наук; Вып. 100).
- Клюев Ю.А., Дуденков Ю.А., Непиша В.И. и др.* Некоторые особенности алмазов Северного Тимана // Докл. АН СССР.- 1974.- Т. 218.- № 6.- С. 1424–1426.
- Кухаренко А.А.* Алмазы Урала.- М.: Госгеолтехиздат, 1955.- 515 с.
- Лютоев В.П., Глухов Ю.В., Макеев А.Б. и др.* Проявление эффекта реабсорбции в спектрах рентгено- и фотолюминесценции алмазов // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: Материалы XIII Геологического съезда Республики Коми: новые результаты и новые перспективы: Т. 4.- Сыктывкар, 1999.- С. 56–59.
- Лютоев В.П., Глухов Ю.В., Макеев А.Б.* Спектроскопические особенности и морфология алмазов месторождения Ичетью // Сыктывкарский минералогический сборник. №28.- Сыктывкар, 1999.- С. 84–93. (Тр. Ин-та геологии Коми науч. центра УрО Российской АН; Вып. 101).
- Макеев А.Б.* Минералогия альпинотипных ультрабазитов.- СПб: Наука, 1992.- 197 с.
- Макеев А.Б., Дудар В.А., Глухов Ю.В. и др.* Морфологические особенности и физические свойства алмазов девонской россыпи Ичетью (Средний Тиман) // Золото, платина и алмазы Республики Коми: Матер. Всерос. конф.- Сыктывкар, 1998.- С. 138–139.
- Макеев А.Б., Полягин В.С., Полянина Т.А. и др.* Структура, состав и минералогия дунитов Гальмоэнанского платиноносного массива (Корякское нагорье) // Там же.- С. 111–112.
- Макеев А.Б., Рыбальченко А.Я., Дудар В.А. и др.* Новые перспективы алмазоносности Тимана // Геология и минеральные ресурсы европейского северо-востока России: новые результаты и новые перспективы. Материалы XIII Геологического съезда Республики Коми. Т. 4.- Сыктывкар, 1999.- С. 63–66.
- Минеева Р.М., Титков С.В., Сперанский А.В. и др.* ЭПР-классификация природных алмазов // Докл. РАН.- 1996.- Т. 346.- № 5.- С. 660–663.
- Минеева Р.М., Бершов Л.В., Сперанский А.В. и др.* Первые сведения об особенностях парамагнитных центров в кристаллах алмаза из кимберлитов Архангельской провинции // Докл. РАН.- 1996.- Т. 348.- № 5.- С. 668–670.

- Новгородова М.И.* Самородные металлы в гидротермальных рудах.- М.: Наука, 1983.- 286 с.
Орлов Ю.Л. Минералогия алмаза.- М.: Наука, 1984.- 263 с.
- Остроумов В.Р., Морозов А.Ф., Киреев А.С. и др.* Открытие коренных источников уральских алмазов. (К 50-летию прииска "Уралалмаз") // Геологическое изучение и использование недр: Научн.-технич. информ. сб. АОЗТ "Геолинформмарк".- М., 1996.- Вып. 6.- С. 3-13.
- Соболев Е.В., Ильин В.Е., Ленская С.В. и др.* О проявлении "пластиначатых дефектов" в спектрах поглощения и возбуждения люминесценции природных алмазов // ЖПС.- 1968.- Т. IX.- Вып. 4.- С. 654-657.
- Соболев Е.В., Лисойван В.И.* О природе свойств алмазов промежуточного типа // Докл. АН СССР.- 1972.- Т. 206.- № 1.- С. 88-91.
- Рыбальченко А.Я., Колобянин В.Я., Лукьянова Л.И. и др.* О новом типе коренных источников алмазов на Урале // Докл. РАН.- 1997.- Т. 353.- № 1.- С. 90-93.
- Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Зуев В.М.* История алмаза.- М.: Недра, 1997.- 601 с.
- Чепуров А.И., Федоров И.И., Сонин В.М.* Экспериментальное моделирование процессов алмазообразования.- Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997.- 197 с. (Тр./ НИЦ ОИГГМ. Вып. 836).
- Щербакова М.Я., Надолинный В.А., Соболев Е.В.* Центр Н3 в природных алмазах по данным ЭПР // ЖСХ.- 1978.- Т. 19.- № 2.- С. 305-314.
- Щербакова М.Я., Соболев Е.В., Надолинный В.А.* Электронный парамагнитный резонанс низкосимметричных примесных центров в алмазе // Докл. АН СССР.- 1992.- Т. 204.- № 4.- С. 851-854.
- Юшкун Н.П., Макеев А.Б.* Алмазные месторождения Тоудаогу (Китай) и Архангельской области: сравнительный анализ // Сыктывкарский минералогический сборник. № 25.- Сыктывкар.- 1996.- С. 5-33. (Тр. Ин-та геологии Коми науч. центра УрО Российской АН; Вып. 90).
- Gaff M.* Diamonds photoluminescence at room temperature // Abstracts of 16th General Meeting of IMA.- Pisa, 1994.- P. 131-132.
- Makeyev A.B., Bryanchaninova N.I., Dudar V.A. et al.* Mineralogy of diamonds from devonian placer Ichetju, Middle Timans // Abstracts. 17th General Meeting of IMA- Toronto, 1998.- P. A16.
- Ramachandran I.N.* The luminescence of diamond excited by X-radiation // Proc. Ind. Acad. Sciens.- 1946.- V. 24A.- № 1.
- Smith M.V., Sorokin P.P., Gelles L.L. et al.* Electron spin resonans of nitrogen donore in diamond. // Phys. Rev.-1959.- V. 115.- № 6.- P. 1546-1552.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. Исторический очерк изучения алмазоносности Среднего Тимана	5
Глава 2. Морфометрия алмазов Среднего Тимана.....	9
Глава 3. Морфологические особенности алмазов Среднего Тимана.....	13
Глава 4. Пленки самородных металлов на алмазах	18
Глава 5. Спектроскопические исследования кристаллов алмазов Среднего Тимана	29
Глава 6. Минералы-спутники алмазов	41
Заключение	43
Литература	46
Приложение	49

ПРИЛОЖЕНИЕ

Фототаблицы.

Электронно-микроскопические изображения алмазов Среднего Тимана
во вторичных электронах (обычный режим) или в отраженных электронах
(режим Compo).

Алмазы Четласского Камня и Вольско-Вымской гряды из месторождения Ичетью (коллекция ОАО Полярноуралгеология)

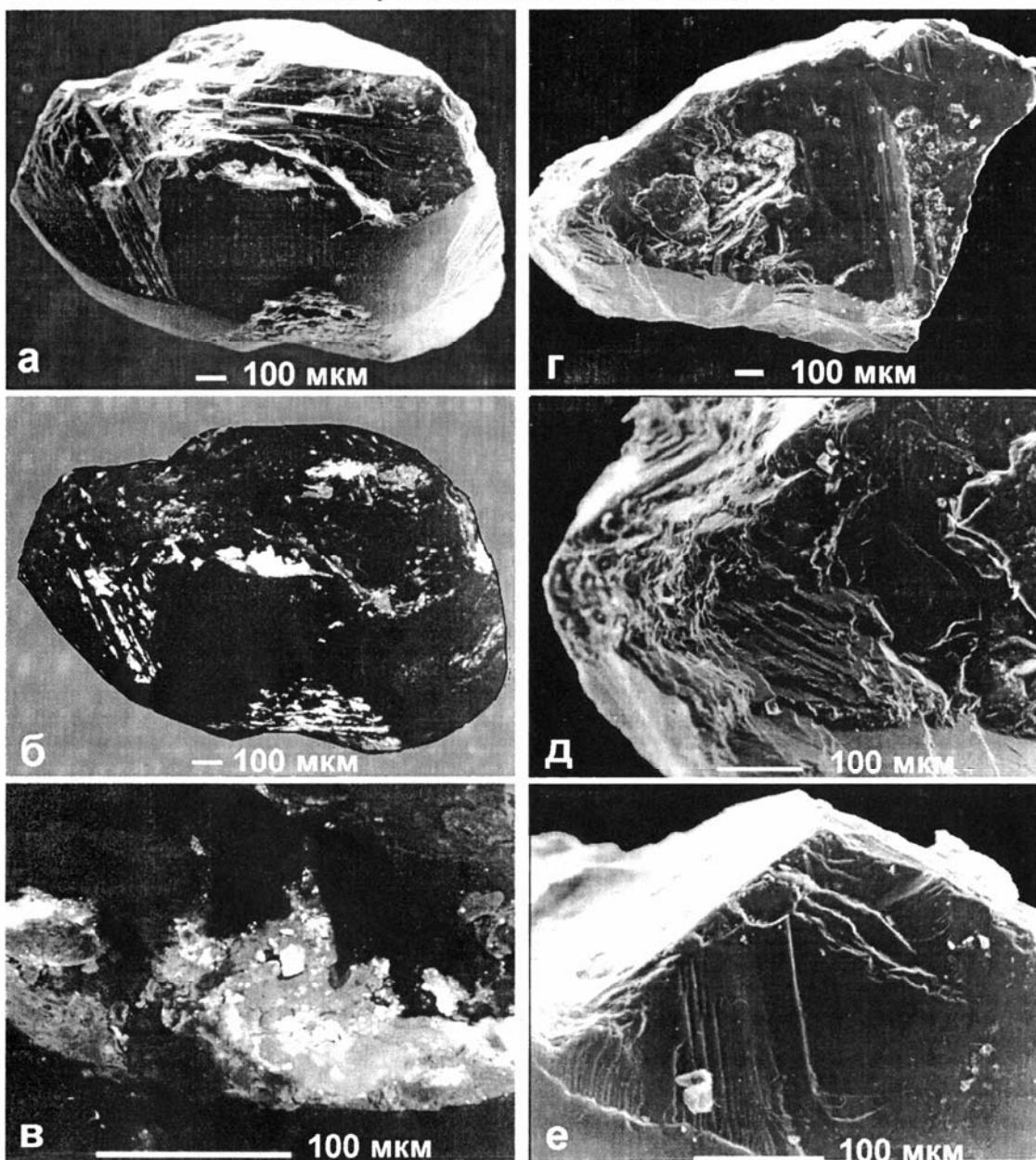
- Таблица 1. Обломки кристаллов алмаза № 4 (р. Пижма) и № 5 (р. Косью).
- Таблица 2. Обломки кристаллов алмаза № 6 и № 9 из аллювия р. Косью.
- Таблица 3. Обломки кристаллов алмаза № 7 (р. Косью) и № 12 (р. Б.Крутая).
- Таблица 4. Двойник алмаза № 19 и псевдотетрагексаэдр № 33 (м-е Ичетью).
- Таблица 5. Комбинационные псевдооктаэдрические кристаллы алмаза № 3, 21, 26.
- Таблица 6. Псевдотетрагексаэдрические кристаллы алмаза № 2, 53.
- Таблица 7. Псевдотетраэдрические кристаллы алмаза № 35, 38.
- Таблица 8. Псевдотетрагексаэдр алмаза № 8 с золото-пallадиевой пленкой.
- Таблица 9. Сдвойникованный псевдооктаэдр алмаза № 31 с пленкой Au_2Pd_3 .
- Таблица 10. Псевдотетрагексаэдр алмаза № 39 с золото-пallадиевой пленкой.
- Таблица 11. Алмаз № 78 с золото-пallадиевой пленкой и алмаз № 58.
- Таблица 12. Алмаз № 86 с золото-пallадиевой пленкой и алмаз № 94.
- Таблица 13. Псевдотетрагексаэдры кристаллов алмаза № 51, 52, 24.
- Таблица 14. Комбинационный алмаз № 56 и двойник алмаза № 57.
- Таблица 15. Псевдотетрагексаэдры алмаза № 59 и 63.
- Таблица 16. Двойник кристалла алмаза № 87 не диагностируемого габитуса.
- Таблица 17. Псевдотетрагексаэдры алмаза № 88 и 92.
- Таблица 18. Гладкогранные псевдотетрагексаэдры алмаза № 80, 81, 83, 85, 90, 91.
- Таблица 19. Псевдотетрагексаэдры алмаза № 95, 96, 97.

Месторождение Ичетью, карьер № 100 (коллекция ЗАО Тимангеология)

- Таблица 20. Резорбированный псевдотетрагексаэдр алмаза № 125.
- Таблица 21. Двойник кривогранного алмаза № 129 с включениями.
- Таблица 22. Кривогранные алмазы – псевдооктаэдр № 131 и псевдотетрагексаэдр № 133.
- Таблица 23. Алмазы № 134, 126 с отпечатками минералов-спутников.
- Таблица 24. Алмазы № 139, 124 с богатой граниной скульптурой.
- Таблица 25. Алмазы № 143, 151 с богатой граниной скульптурой.
- Таблица 26. Алмазы № 147, 148 с формами роста и отпечатками минералов-спутников.
- Таблица 27. Черный поликристалл алмаза – карбонат № 0-1 и комбинационный псевдокубооктаэдр алмаза № 149.
- Таблица 28. Алмазы № 136 и 163 со следами сильного истирания – свидетельство дальнего переноса и гладкогранный изометричный псевдотетрагексаэдр алмаза № 155 ближнего сноса.
- Таблица 29. Алмазы № 157, 146 с отпечатками минералов-спутников и индукционной поверхностью совместного роста.
- Таблица 30. Алмазы № 150, 152 с богатой граниной скульптурой.

Таблица 1

Обломки кристаллов алмаза № 4 (а–в) и №5 (г–е)

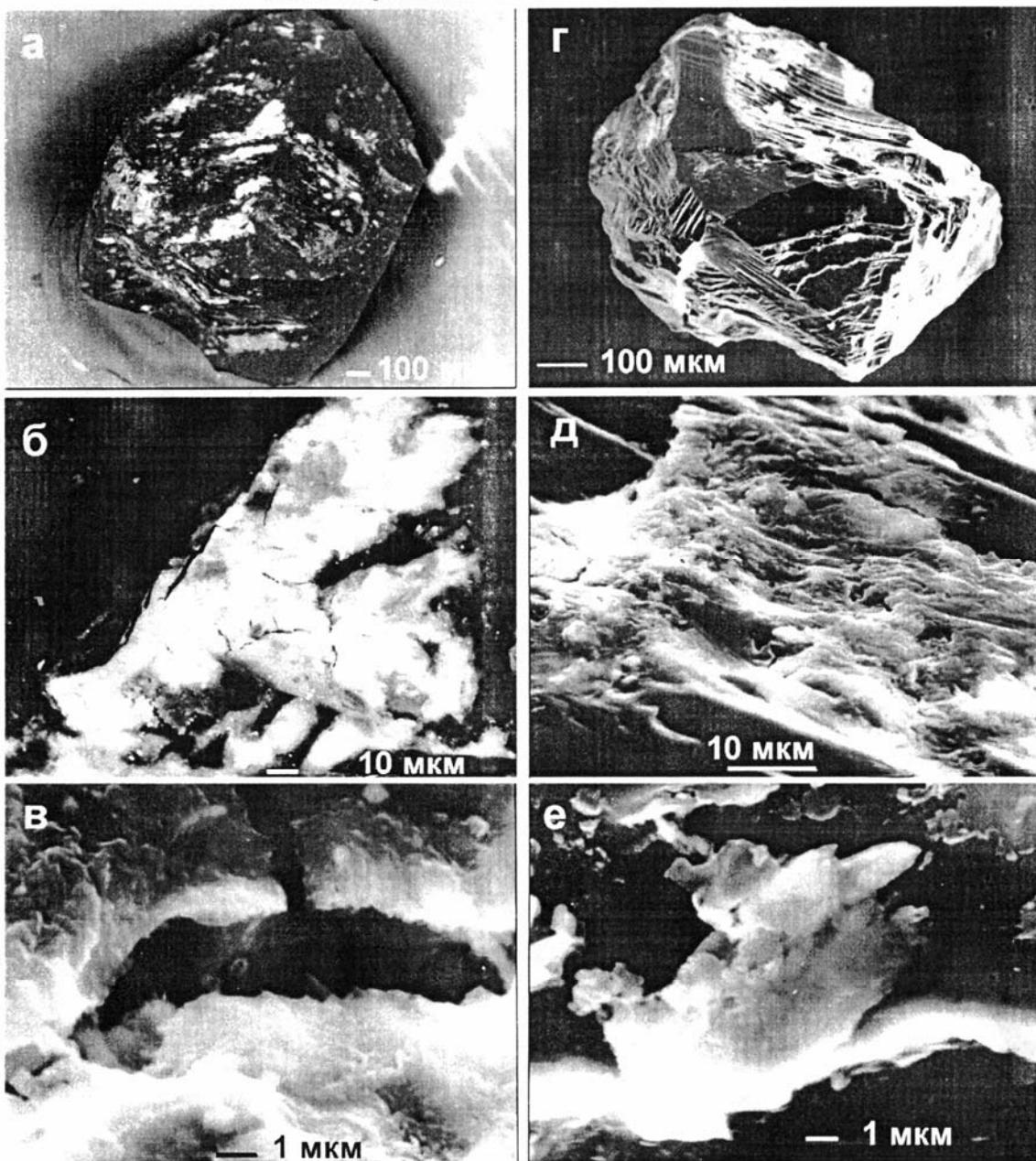


Алмаз № 4. а – общий вид кристалла во вторичных электронах, б – то же в режиме Compo, в – тонкие пленки свинца, которые занимают примерно 10 % площади покрывают все отрицательные формы рельефа. Водяно-прозрачный обломанный псевдотетрагексаэдр, со спайностью на сколе. Крупные неправильные отпечатки. Технический (6.15 мг; 2.0×1.3 мм). Найдено в аллювии р. Пижмы.

Алмаз № 5. г – общий вид, водяно-прозрачный плоский треугольный обломок, д – фрагмент одной грани кристалла с отпечатками другого алмаза. е – небольшие фрагменты пленок свинца и феррохрома (Fe₇Cr). Технический (6.75 мг; 2.2×1.4 мм). Найдено в аллювии р. Косью.

Таблица 2

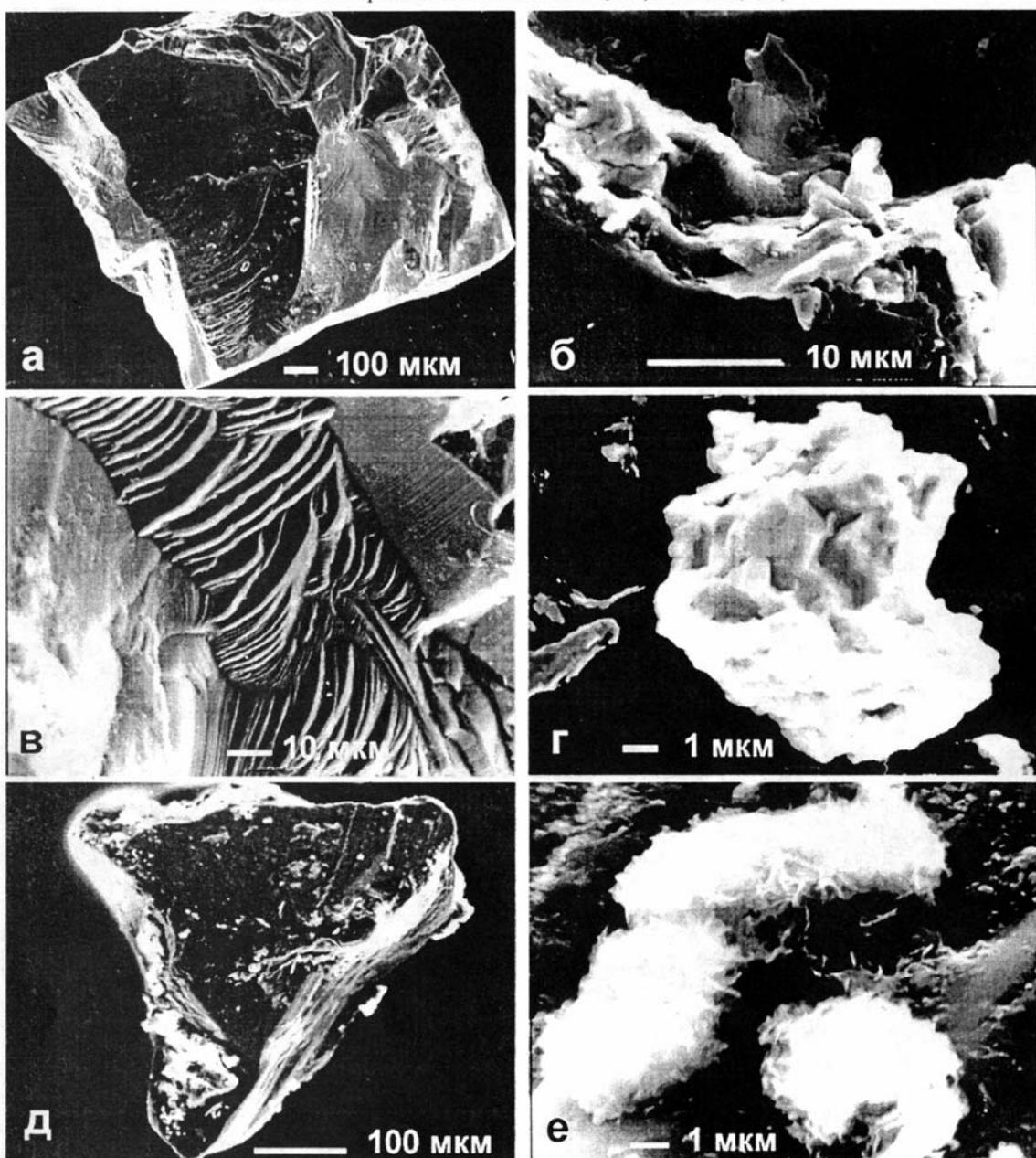
Обломки кристаллов алмаза № 6 (а–в) и № 9 (г–е)



Алмаз № 6. а – общий вид, б – остатки свинцовых пленок, сохранившиеся в отрицательных формах рельефа единственной грани, в – пленка свинца в разрезе, видно что ее толщина не больше 1 мкм. Водяно-прозрачный обломок алмаза, без следов каких-либо граней, либо обломок плоскогранного октаэдра со ступенями на гранях. Технический (4.0 мг; 1.5×1.3 мм). Найдено в аллювии р.Косью.
 Алмаз № 9. г – общий вид, д – пленки самородного свинца на поверхности оставшейся грани, е – пленка феррохрома Fe_7Cr_2Ni . Водяно-прозрачный обломок кристалла, со спайностью по октаэдру, может быть это фрагмент октаэдра (111), видны отпечатки других кристаллов. Технический (0.56 мг; 0.9×0.65 мм). Найдено в аллювии р. Косью.

Таблица 3

Обломки кристаллов алмаза № 7 (а–г) и № 12 (д, е)

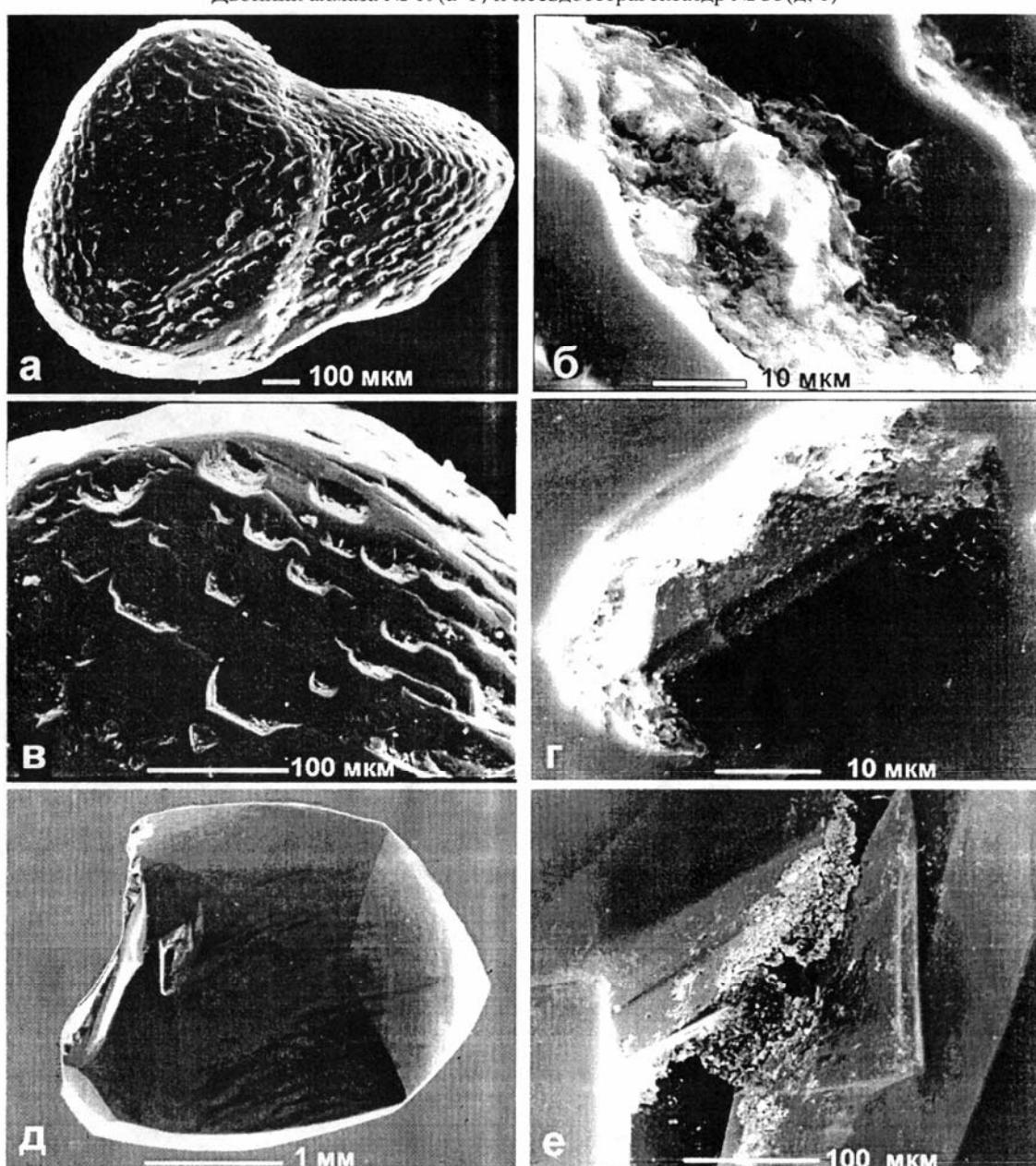


Алмаз № 7. а – общий вид, б – пленка самородной природной латуни (Cu_2Zn), размером 20 мкм, в – включение пластинки графита (толщиной 40–50 мкм) на сколе, г – пленка самородного tantalа (Ta). Пленки сохранились в углублении отпечатка на оставшейся грани. Водяно-прозрачный обломок кривогранного кристалла алмаза, габитус диагностировать невозможно. Технический (2.3 мг; 1.3×1.2 мм). Нахodka в аллювии р. Косью.

Алмаз № 12. д – общий вид, е – фрагменты пленок Ag (AgCl) и Pb в виде чешуйчатых агрегатов на поверхности грани. Белый прозрачный треугольный плоский обломок с фрагментами грани, со ступенями и отпечатками. Технический (0.1 мг; 0.5×0.4 мм). Нахodka в аллювии р. Крутой.

Таблица 4

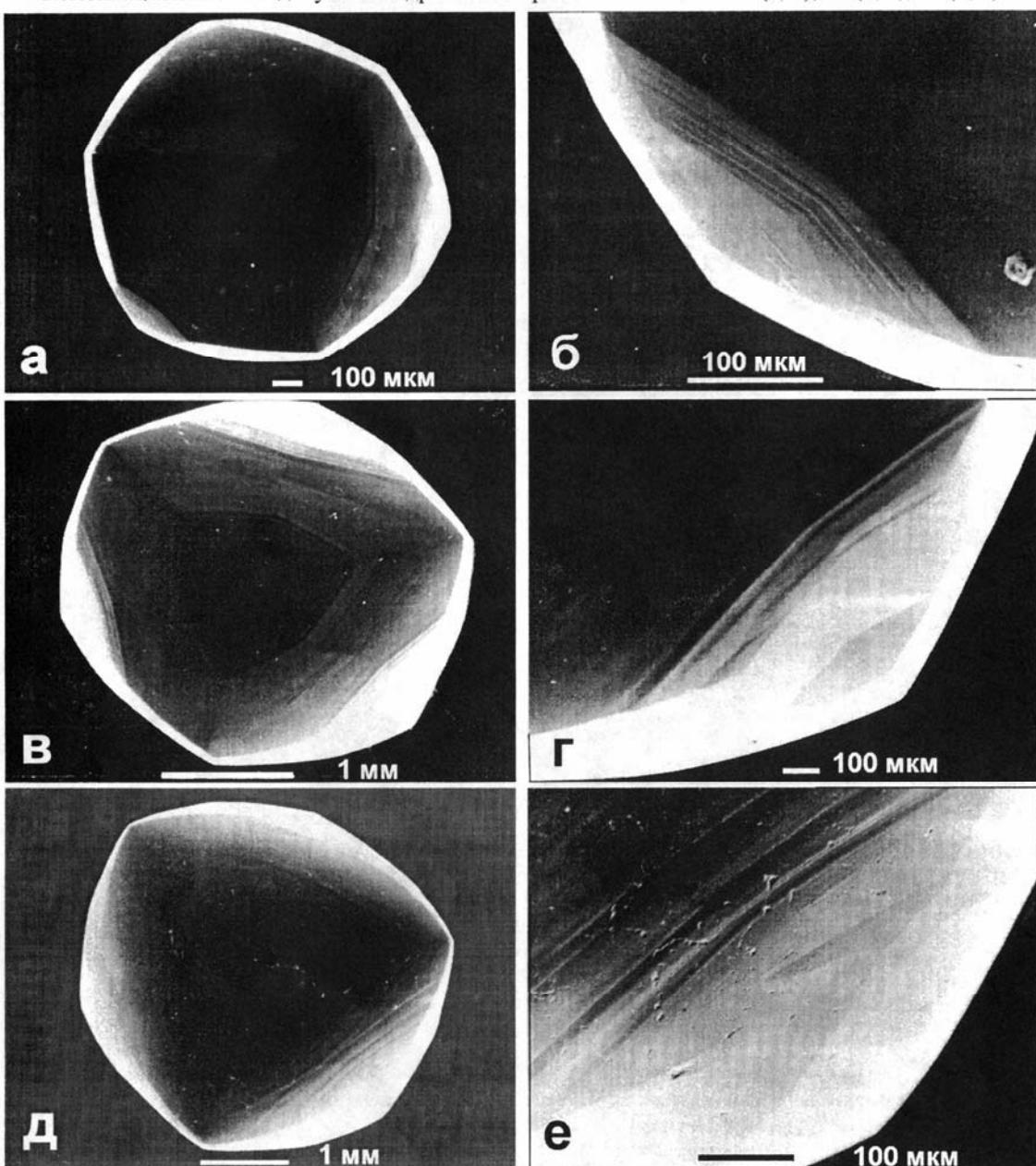
Двойник алмаза № 19(а–г) и псевдотетрагексаэдр № 33(д, е)



Алмаз № 19. а – общий вид, в – ямки травления (30–100 мкм) по всему зерну, г – остатки металлических пленок Ti, Sn, Fe_xCr в ямках, б – пленки из хлорита и редкоземельного алюмо-сульфата-фосфата TR-Al[(P,S)O₄], располагающиеся сверху на металлических пленках. Стально-серый непрозрачный двойник кристаллов алмаза (похож на земляничку) с сильно резорбированной поверхностью. Технический, коллекционный (1.8 мг; 1.3×1.1 мм). Добыча из гравелитов месторождения Ичетью. Алмаз № 33. д – общий вид, е – примазки флогопита и хлорита, обнаруженные в одном из нескольких отпечатков. Обломанный на 1/4 псевдотетрагексаэдр, прозрачный бледно-желтый удлиненный со слабой скульптурой на гранях и полосами из вициналей. Ювелирный (33.7 мг; 3.0×2.7×2.0 мм). Добыча из гравелитов месторождения Ичетью.

Таблица 5

Комбинационные псевдокубооктаэдрические кристаллы алмаза № 3 (а, б), 21 (в, г), 26 (д, е)



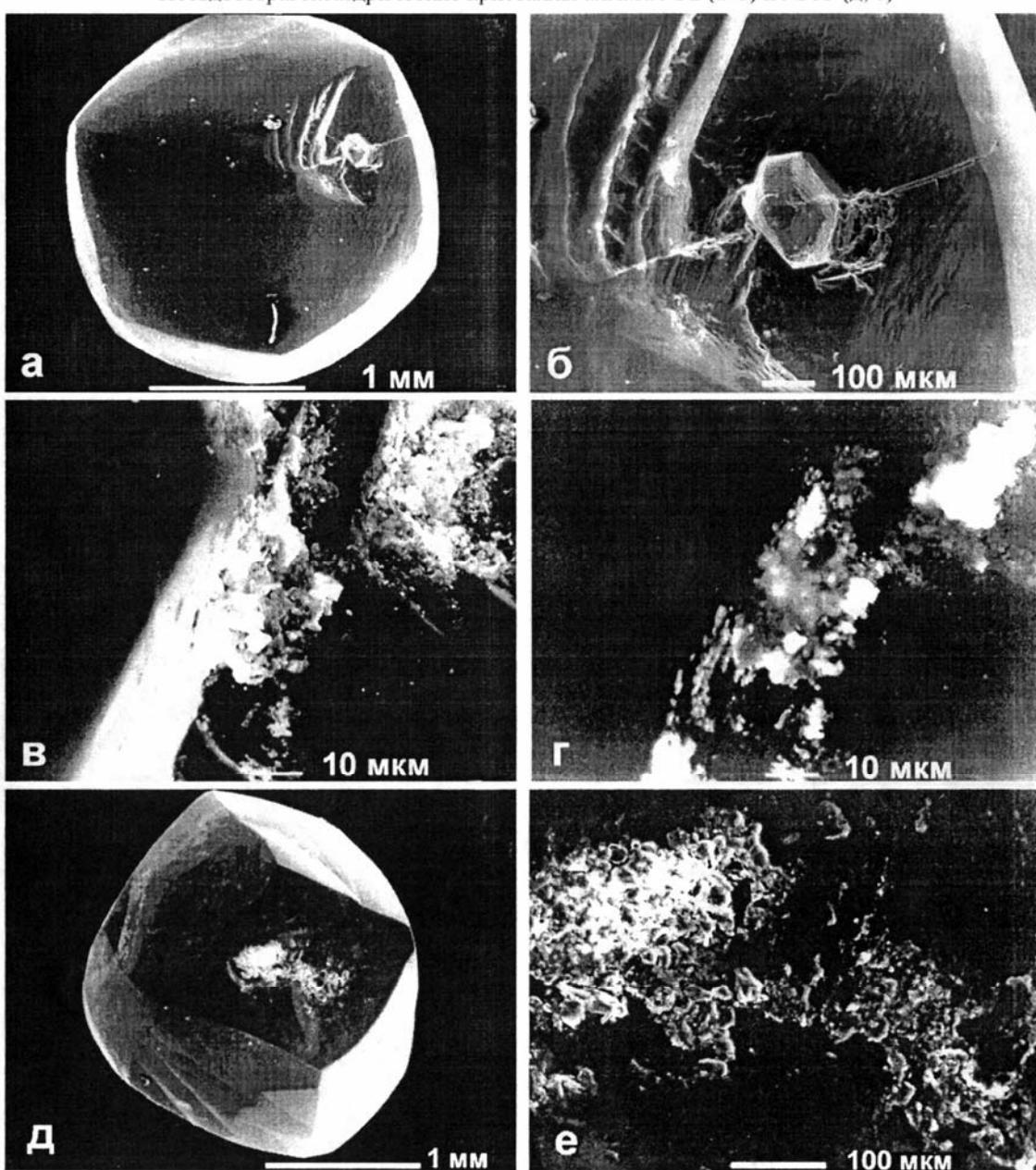
Алмаз № 3. а – общий вид, б – гладкие или ступенчатые грани с редкими трещинками. Водяно-прозрачный изометричный комбинационный псевдотригонгексаоктаэдр + октаэдр (111) + псевдотетрагексаэдр. Редкие неглубокие отпечатки. Ювелирный (5.5 мг; 1.4×1.4 мм). Аллювий р. Пижмы.

Алмаз № 21. в – общий вид, г – ступени и отпечатки на гранях. Прозрачный слабо зеленоватый с зелеными пигментными пятнами комбинационный псевдотетрагексаэдр + псевдотригонгексаоктаэдр + октаэдр (111). Ювелирный (70.8 мг; 3.3×3.0 мм). Добыча из гравелитов месторождения Ичетью.

Алмаз № 26. д – общий вид, е – ступени и треугольные отпечатки на гранях. Водяно-прозрачный комбинационный псевдотетрагексаэдр + псевдотригонгексаоктаэдр. Обнаружено включение коэсита (SiO_2) размером 10×13 мкм. Ювелирный (160.5 мг; 4.1×4.1 мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 6

Псевдотетрагексаэдрические кристаллы алмаза № 2 (а–г) и № 53 (д, е)

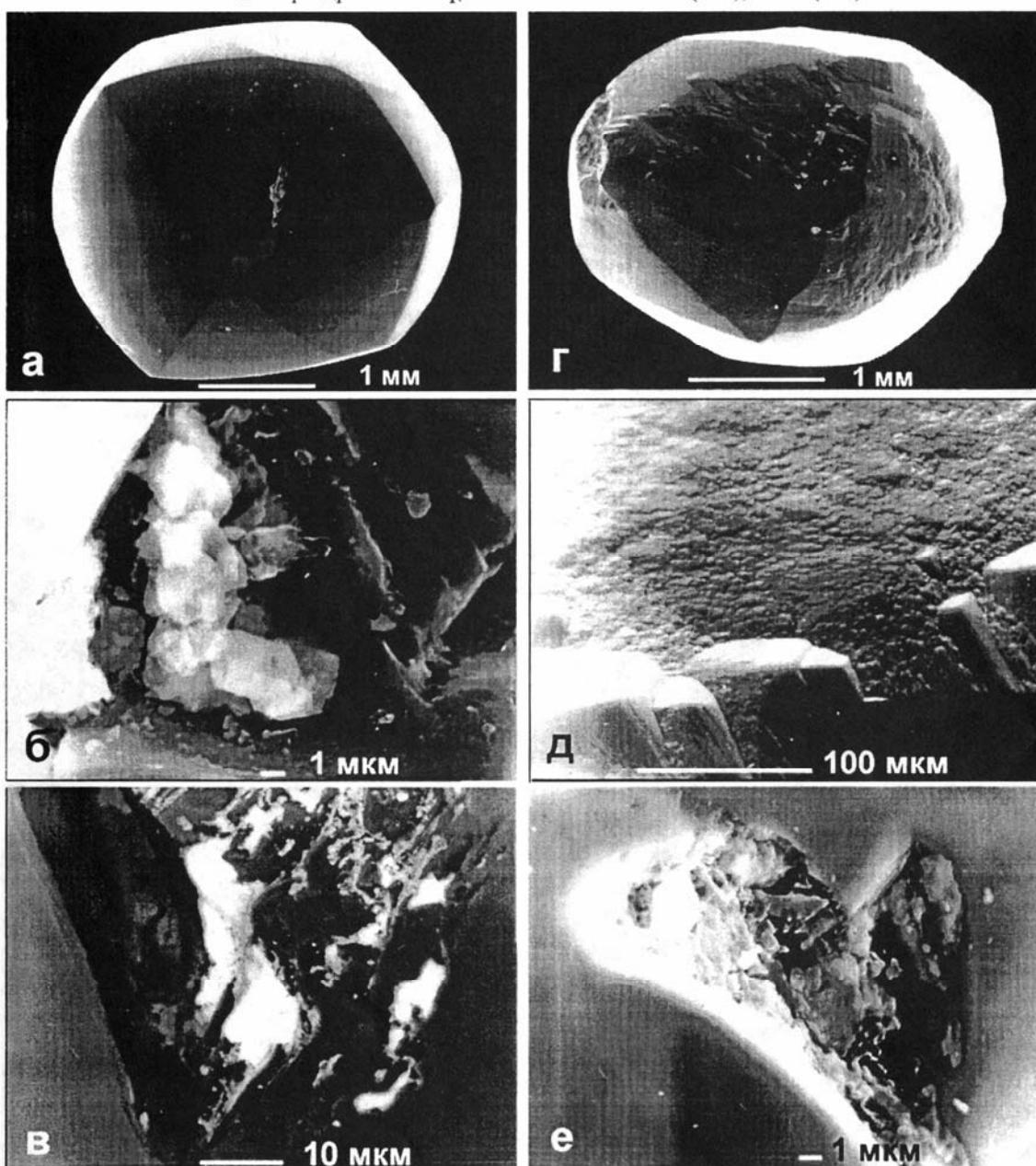


Алмаз № 2. а – общий вид, б – в крупном отпечатке видна глубокая шестигранная отрицательная призма. в – фрагменты серебряной пленки (во вторичных электронах), большая часть которой превратилась в сульфид серебра (Ag_2S), размер пленок всего 20–30 мкм, г – то же в режиме Сомро. Изометричный псевдотетрагексаэдр с гладкими гранями и редкими вициналями. Ювелирный (34.1 мг; 2.3×2.3мм). Аллювий р.Умбы.

Алмаз № 53. д – общий вид, е – несколько отпечатков, в которых диагностированы примазки каолинита и сапонита. Бледно-желтый прозрачный удлиненный псевдотетрагексаэдр с гладкими мозаичными гранями, одно близповерхностное желтое пигментное пятно. Ювелирный (22.5 мг; 2.5×2.2×2.0 мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 7

Псевдотетраэдрические кристаллы алмаза № 35 (а–в), № 38 (г–е)

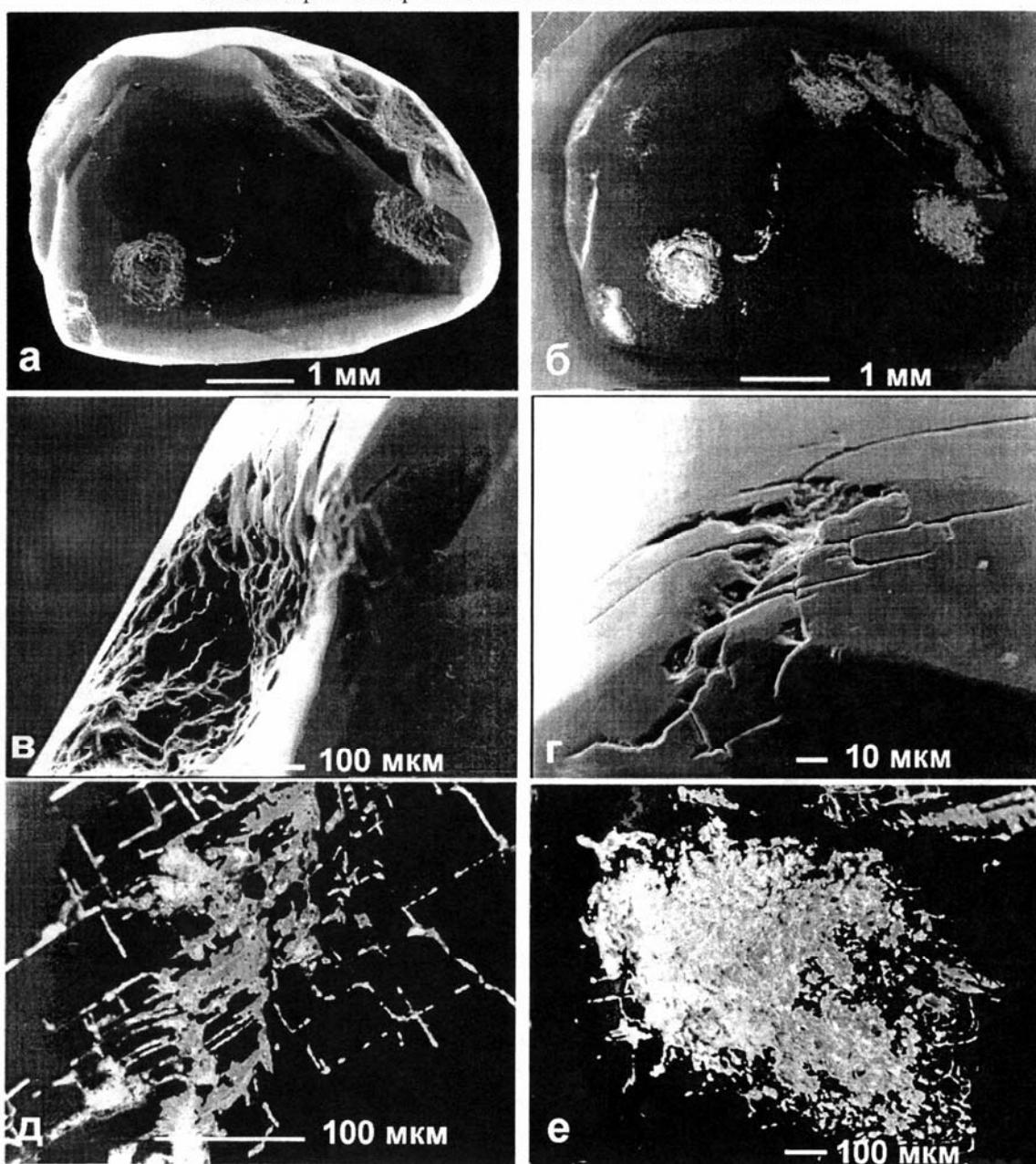


Алмаз № 35. а – общий вид, б – отпечаток с остатками пленок висмута и титана (в), размером 10–15 мкм. Бледно-зеленоватый прозрачный идеальный псевдотетрагексаэдр с гладкими гранями. Ювелирный (81.5 мг; 3.6×3.1×3.0 мм). Месторождение Ичетью.

Алмаз № 38. г – общий вид, д – шагреневая поверхность из вициналей двух порядков 5–20 и 100 мкм, е – пленка TR-Al[(P,S)O₄] в ямках травления. Коричневый, полупрозрачный псевдотетрагексаэдр слабо удлиненный мозаичный (двойник?). Коричневые пигментные пятна до 0.3 мм и черные свищи внутри, ухудшающие качество. Технический (53.0 мг; 3.3×2.6 мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 8

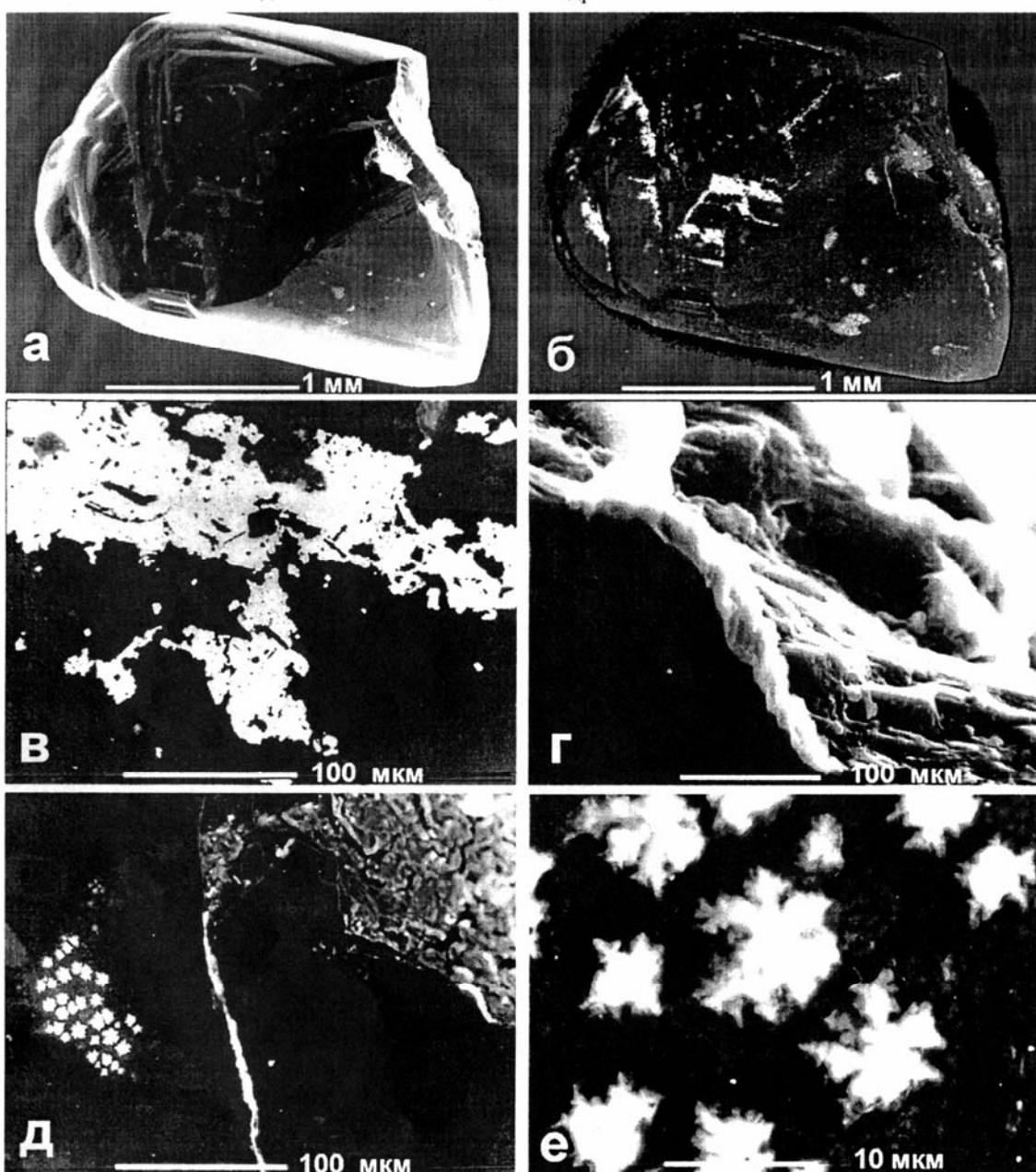
Псевдотетрагексаэдр алмаза № 8 с золото-палладиевой пленкой



а – общий вид во вторичных электронах, б – тот же кристалл в режиме Сомпро, покрытый золото-палладиевой пленкой, в - на поверхности следы растворения в виде десятка ямок 0.5–1.0 мм величиной, г – крупные отпечатки минералов-спутников, а также черепитчатые трещинки – свидетельства прогрева кристалла, д – в трещинах и во всех ямках (е) – металлическая золото-палладиевая пленка (Au_2Pd_3), которая покрывает до 10 % площади кристалла. Водяно-прозрачный крупный псевдотетрагексаэдр. Ювелирный (178.3 мг; 5.8×4.0 мм). Нахodka в аллювии р. Косью.

Таблица 9

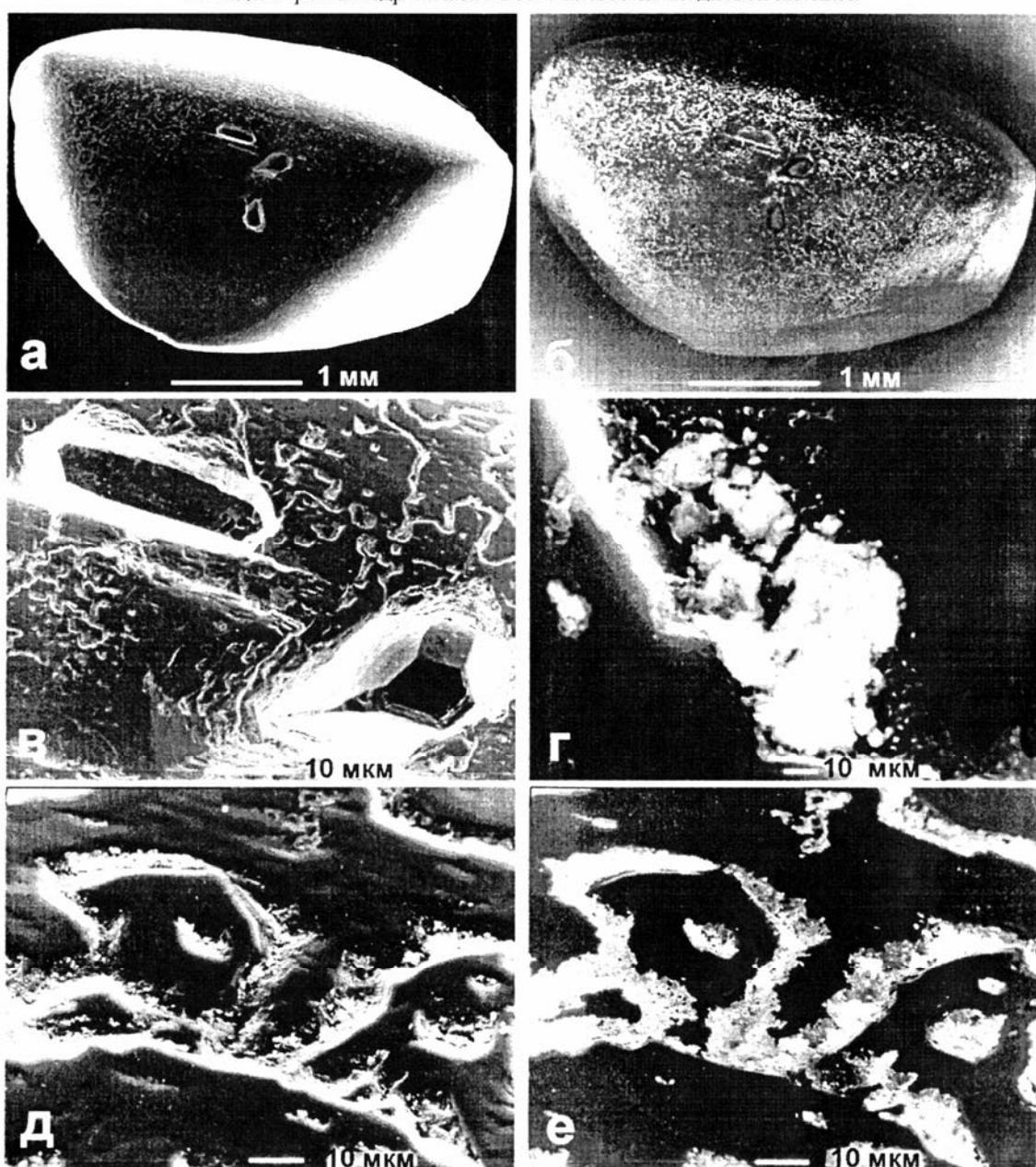
Сдвойникованый псевдооктаэдрический алмаз № 31



а – общий вид во вторичных электронах, б – тот же кристалл в режиме Сомро, в - золото-палладиевые пленки (интерметаллид Au_2Pd_3) в отрицательных формах рельефа, г – многослойные пленки из металлического титана, покрытые $\text{TR}-\text{Al}[(\text{P},\text{S})\text{O}_4]$, д – включения Ti и Au_2Pd_3 в трещинах, толщиной до 5 мкм, е – пятнистые выделения вторичных дендритов $(\text{Na},\text{K})\text{Cl}$, которые могли образоваться при испарении жидких включений в открытых порах при напылении кристалла в вакууме. Бледно желто-коричневый прозрачный псевдотригонгексаоктаэдр + октаэдр (111). На гранях ступени, треугольные отпечатки. Коллекционный, технический (18.4 мг; 2.0×1.7 мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 10

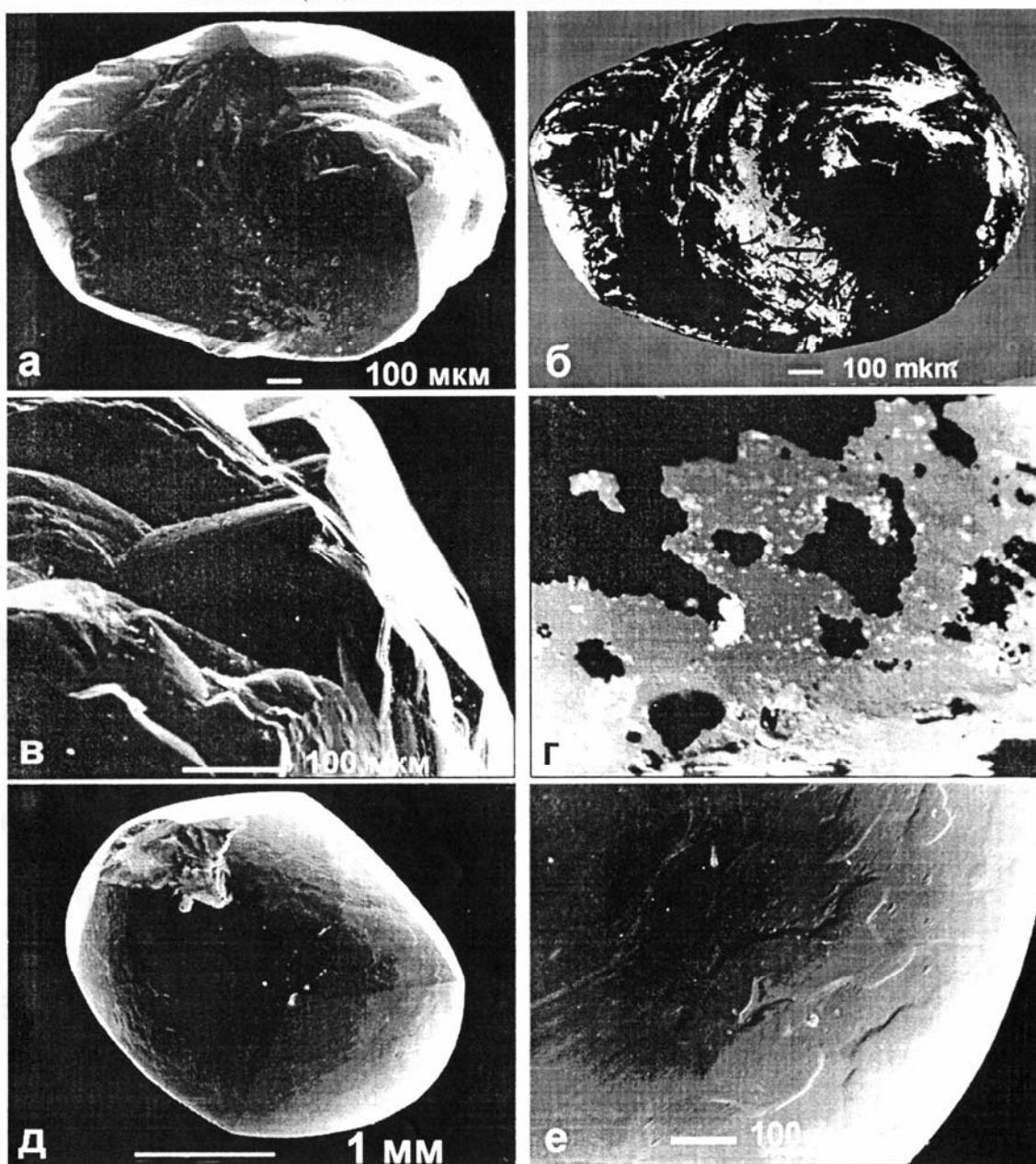
Псевдотетрагексаэдр алмаза № 39 с золото-палладиевой пленкой



а – общий вид во вторичных электронах; б – тот же кристалл в режиме Сомро, покрытый золото-палладиевой пленкой, в – три глубоких отпечатка минералов-спутников на гранях с металлическими пленками на стенках. г – тонкая золото-палладиевая пленка (интерметаллид Au_2Pd_3) сохранилась во всех отрицательных формах рельефа, д – все углубления на гранях алмаза это формы травления, е – то же в режиме Сомро, заполнены золото-палладиевыми пленками. Белый матовый полупрозрачный уплощенный и удлиненный псевдотетрагексаэдр. Сильно резорбированный кристалл с шагренью поверхностью, покрытый бороздами и ямками растворения по всей поверхности кристалла. Ювелирный, коллекционный (71.4 мг; 4.1×2.8 мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 11

Алмаз № 78(а–г) с золото-палладиевой пленкой и алмаз № 58(д, е)

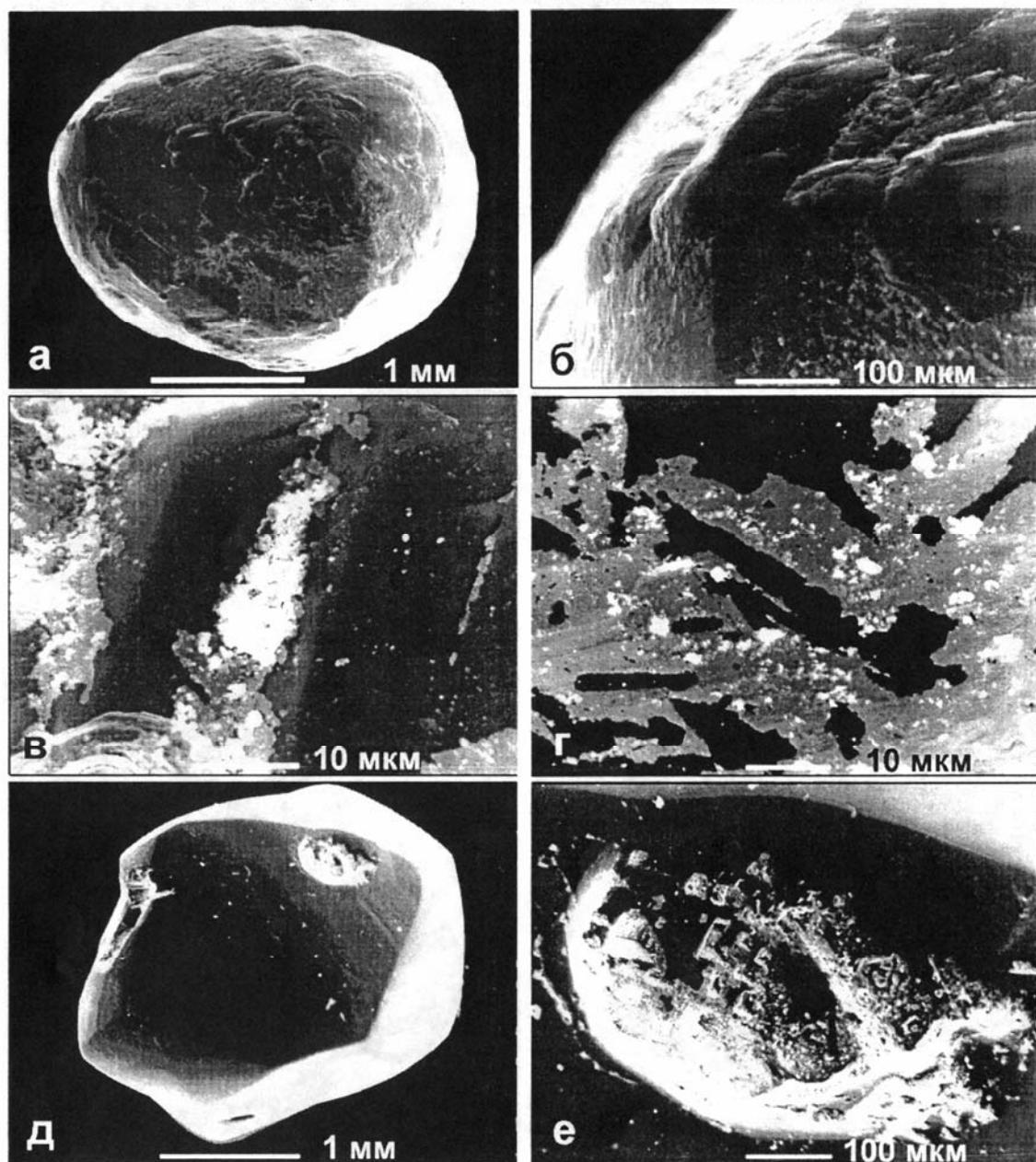


Алмаз № 78. а – общий вид во вторичных электронах, б – тот же кристалл в режиме Сомпро, покрытый золото-палладиевой пленкой, в – бугры до 300 мкм и вицинали роста от 8 до 15 мкм, г – тонкая золото-палладиевая пленка (толщиной 0.1 мкм) на гранях, более толстая 0.5–1.0 мкм распространена редкими участками. Полупрозрачный желтый двойник, сложный многоголовый поликристалл псевдотетрагексаэдр алмаза. На 30–40 % поверхности зерна тонкая 0.1–0.5 мкм золото-палладиевая пленка (Au_3Pd_2). между бугорками пленка сохранилась лучше. Технический, коллекционный (2.95 мг; $1.5 \times 1.0 \times 0.8$ мм). Месторождение Ичетью.

Алмаз № 58. д – общий вид, е – крупный отпечаток, скол (0.5 мм), треугольные удлиненные вицинали, округлые спиральные вицинали. Водяно-прозрачный уплощенный, удлиненный псевдотетрагексаэдр с заметной бугристой поверхностью. Пленки гидроксидов железа. Ювелирный (25.0 мг; $2.9 \times 2.2 \times 1.7$ мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 12

Алмаз № 86(а–г) с золото-палладиевой пленкой и алмаз № 94(д, е)

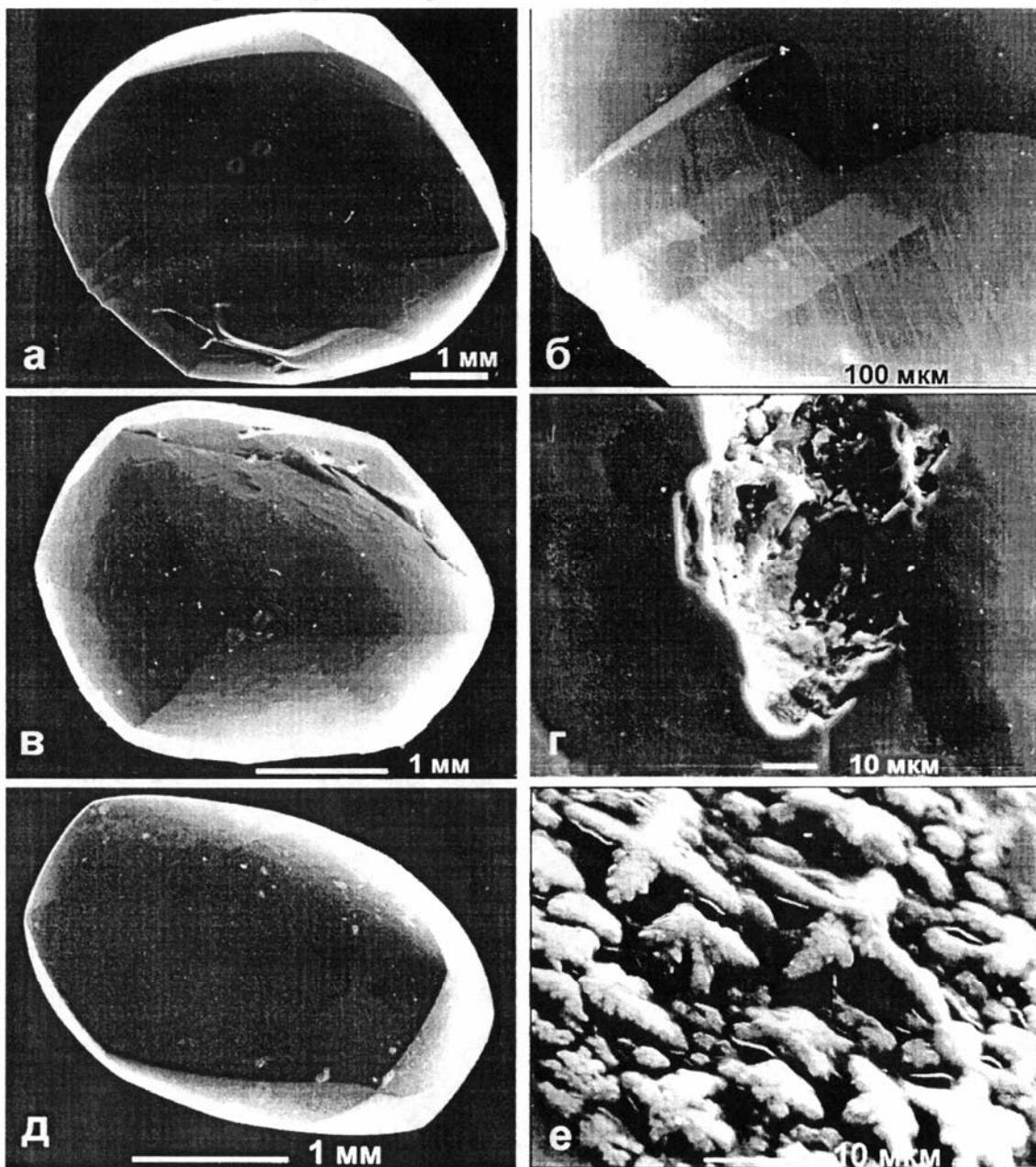


Алмаз № 86. а – общий вид, б – бугры и вицинали двух порядков (200–400 мкм и 10–40 мкм) – формы роста, в – тонкая 0.1–0.5 мкм золото-палладиевая пленка из интерметаллида Au_3Pd_2 на всем зерне, г – между вициналями и бугорками роста пленка сохранилась лучше. Желтый, полупрозрачный удлиненный несовершенный сильно бугристый псевдотетрагексаэдр. Полу涓елирный, коллекционный (33.1 мг; 2.8×2.2 мм). Месторождение Ичетью, участок Золотой камень.

Алмаз № 94. д – общий вид, е – примазки $\text{TR-Al}[(\text{P.S})\text{O}_4]$, диагностированные в отпечатках минералов-спутников. Прозрачный слабо удлиненный несовершенный псевдотетрагексаэдр с мозаичными гранями. Внутри 3–4 мелких черных свиля или включений графита, примазки анкерита, магнетита, шеелита. Ювелирный (31.1 мг; 3.0×2.2 мм). Добыча из гравелитов месторождения Ичетью.

Таблица 13

Псевдотетрагексаэдрические кристаллы алмаза № 51(а, б), № 52(в, г), №24(д, е)

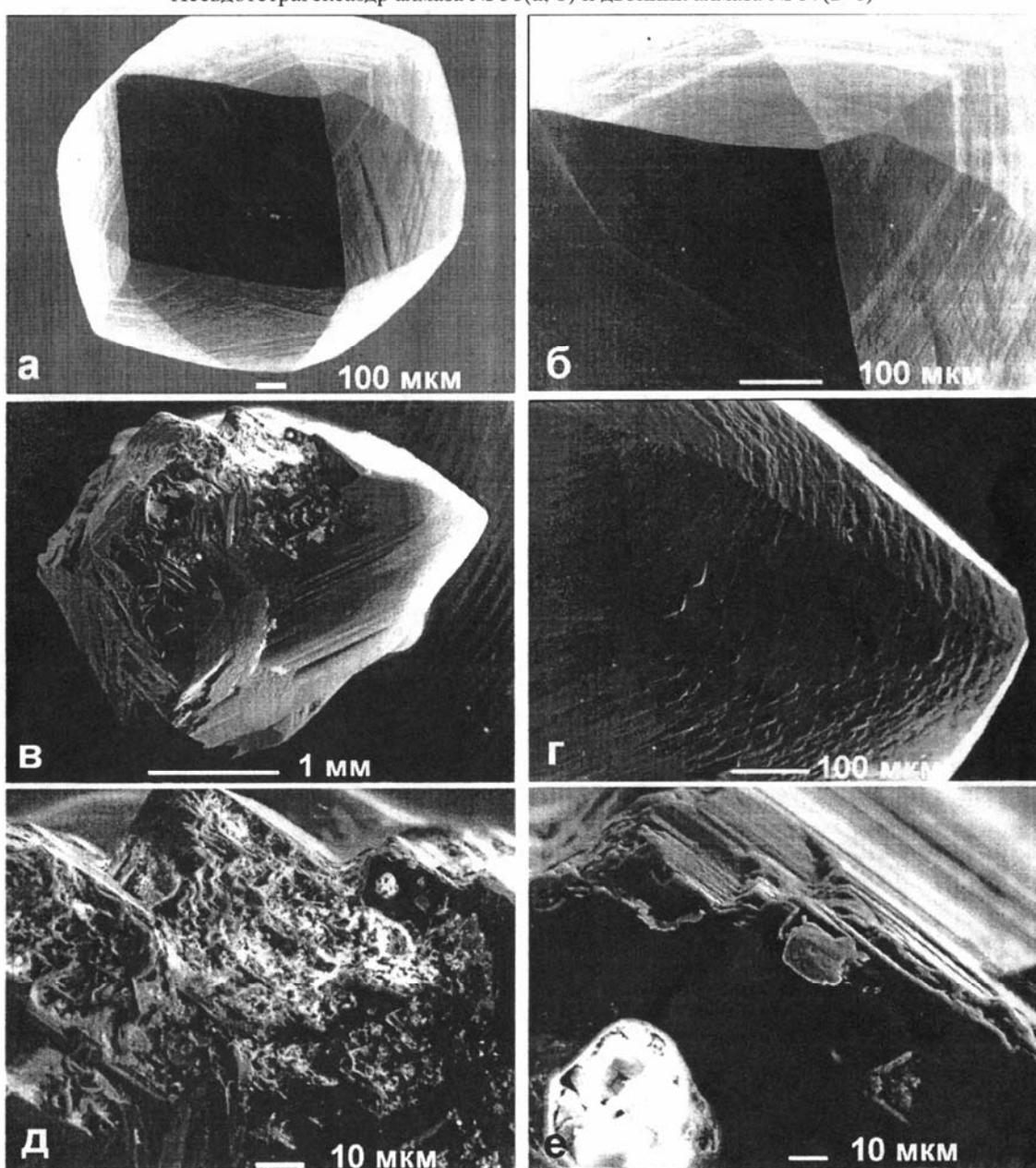


Алмаз № 51. а – общий вид. б – грани гладкие, кое-где еле заметны дислокации и отпечатки. Внутри мелкие свижи 0.1 мм и несколько желтых пигментных пятен. Прозрачный бледно-желтый слабо уплотненный псевдотетрагексаэдр. Ювелирный (244.8 мг; 5.7×4.7×4.0 мм).

Алмаз № 52. в – общий вид, г – пленки металлического титана и спиды диагностированы в отпечатках. Водяно-прозрачный уплотненный и удлиненный псевдотетрагексаэдр, возможно двойник. Гладкие грани с небольшими вициналями 30–100 мкм и отпечатками. Ювелирный (40.6 мг; 3.5×2.5×2.0 мм). Алмаз № 24. д – общий вид, е – пятна из дендритов солей хлорида калия и натрия ($\text{Na},\text{K}\text{Cl}$) непонятной природы на всем кристалле (возможно выход включений при напылении в вакууме). Зеленый прозрачный удлиненный псевдотетрагексаэдр. Несколько (5–6 штук) крупных зеленых пигментных пятен до 0.3 мм. Совершенные гладкие грани. Ювелирный (33.8 мг; 3.0×2.5×2.0 мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 14

Псевдотетрагексаэдр алмаза № 56(а, б) и двойник алмаза № 57(в–е)

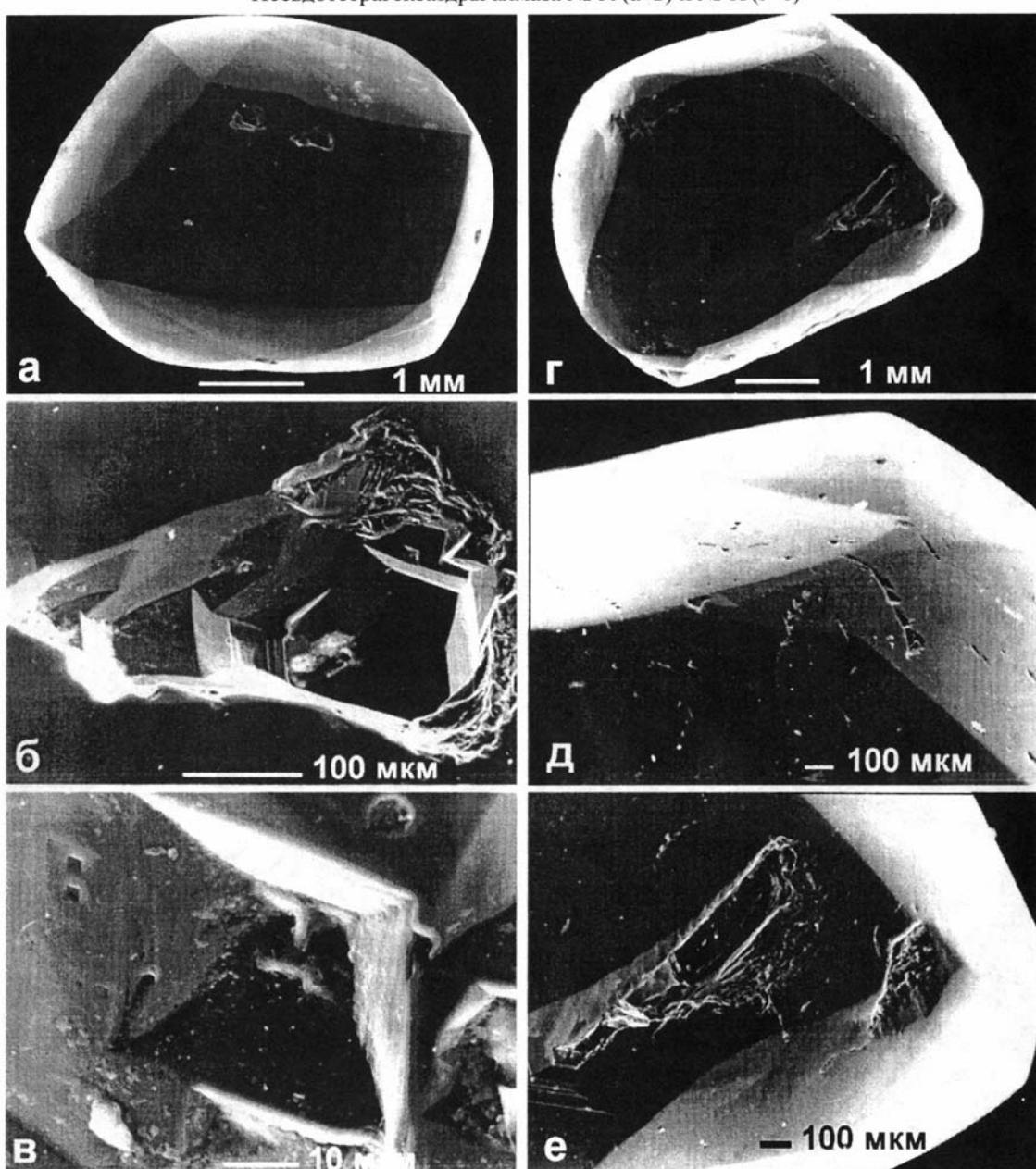


Алмаз № 56. а – общий вид, б – ступенчатые грани с поперечной штриховкой. Прозрачный коричневый совершенный комбинационный кристалл псевдотетрагексаэдр + псевдотривектооктаэдр. Очень мелкие многочисленные вицинали 2–12 мкм по всей поверхности, с одной стороны плоский отпечаток. Ювелирный (4.5 мг; 2.0×1.1 мм). Месторождение Ичетью.

Алмаз № 57. в – общий вид, г – на граниях штриховка, многочисленные вицинали размером (10–30 мкм). д – тонкая пленка самородного свинца и железа (е) на граниях кристалла. Полупрозрачный двойник, треугольный многоглавый кривогранный кристалл неясного габитуса с многочисленными отпечатками других алмазов (стесненный рост). Пластинка серпентина на сколе, пленки феррохрома (Fe_7Cr_1). Внутри несколько мелких черных включений. Технический (39.6 мг; 3.5×2.7 мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 15

Псевдотетрагексаэдры алмаза № 59(а–в) и № 63(г–е)

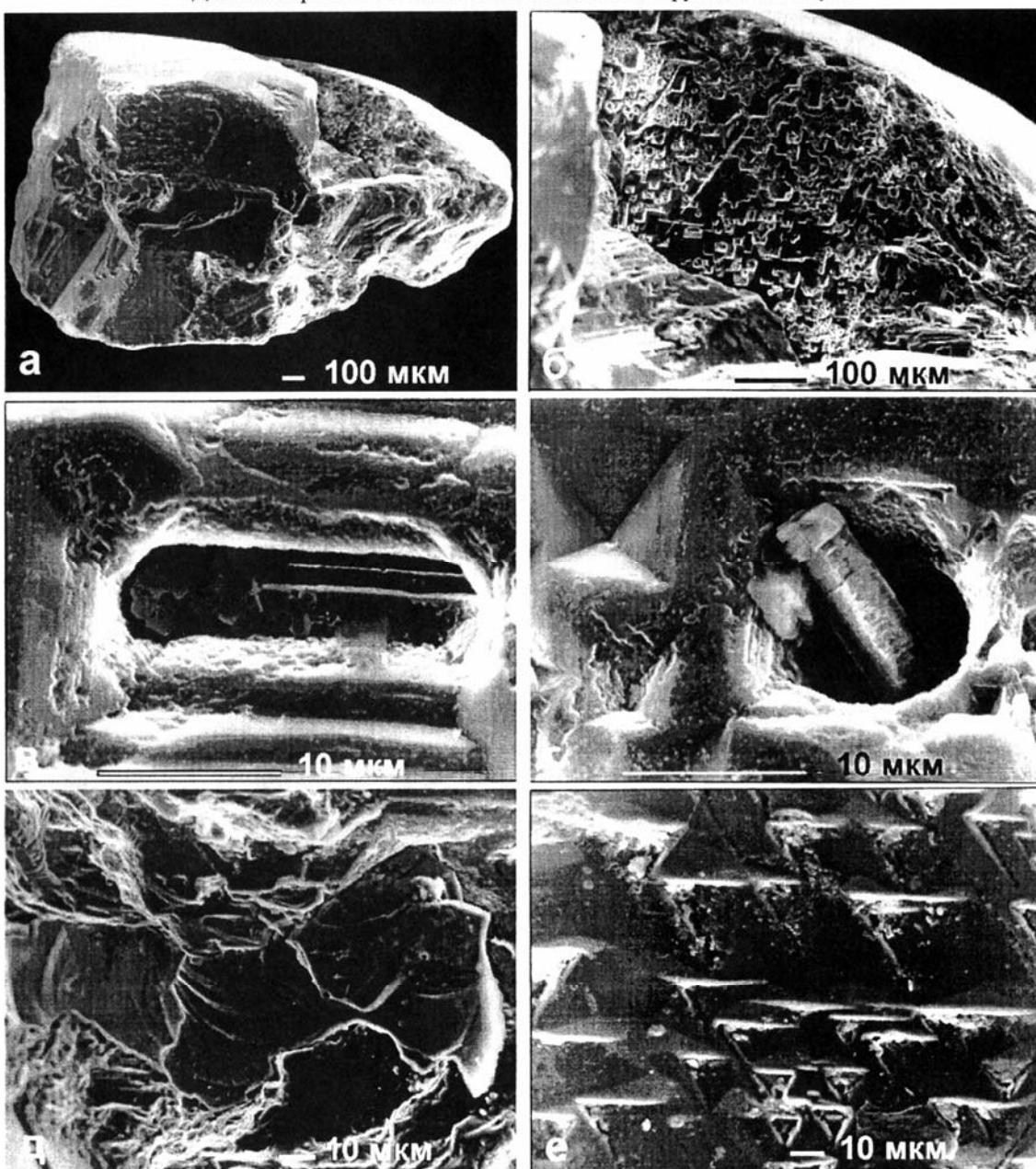


Алмаз № 59. а – общий вид, б – на гранях несколько крупных отпечатков минералов-спутников от 50 мкм до 0.4 мм (в) или других алмазов. Водяно-прозрачный прямоугольный псевдотетрагексаэдр с гладкими гранями. Удлиненные треугольные вицинали размером 50×300 мкм. Большое зеленое пятно, несколько мелких свиляй и трещинок, выходящих на поверхность. Ювелирный (135.4 мг; 4.6×3.4 мм). Месторождение Ичетью.

Алмаз № 63. г – общий вид, д – круглые спиралевидные вицинали, серповидные штрихи, е – тонкие пленки феррохрома (Fe_3Cr), сохранились во впадинах отпечатков. Водяно-прозрачный несколько удлиненный псевдотетрагексаэдр с мозаичными гранями и отпечатками. Включения коэсита (?), примазки $TR-Al[(P,S)O_4]$. Внутри несколько мелких зеленых пигментных пятен. Ювелирный каратник II класса (196.0 мг; 5.0×4.0 мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 16

Двойник кристалла алмаза № 87 не диагностируемого габитуса



а – общий вид; б – резорбированная грань с многочисленными ямками травления; в, г – в порах и отпечатках сохранились включения гипергенного каолинита, а также споды и мелкие зерна самородного железа; д – включение SiO_2 , возможно коэсита; е – многочисленные отпечатки других алмазов размером от 10–20 мкм до 0.5 мм. Бесцветный полупрозрачный со сколами двойник кристалла недиагностируемого габитуса. Черные (графитовые?) включения внутри. Технический (15.6 мг; 2.4×1.6 мм). Месторождение Ичетью, участок Золотой Камень.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Фототаблицы.

Электронно-микроскопические изображения алмазов Среднего Тимана
во вторичных электронах (обычный режим) или в отраженных электронах
(режим Compo).

Алмазы Четласского Камня и Вольско-Вымской гряды из месторождения Ичетью (коллекция ОАО Полярноуралгеология)

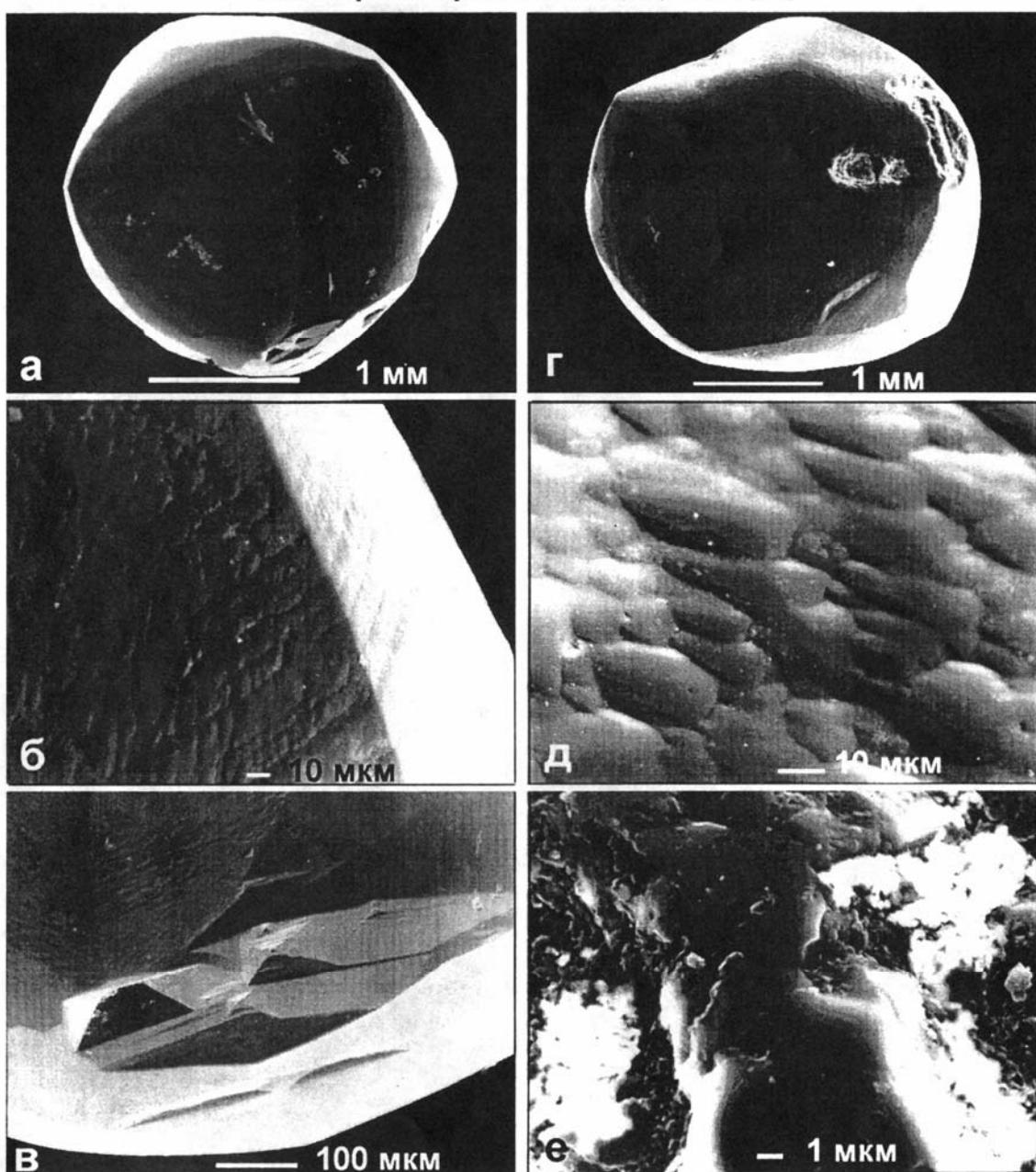
- Таблица 1. Обломки кристаллов алмаза № 4 (р. Пижма) и № 5 (р. Косью).
- Таблица 2. Обломки кристаллов алмаза № 6 и № 9 из аллювия р. Косью.
- Таблица 3. Обломки кристаллов алмаза № 7 (р. Косью) и № 12 (р. Б.Крутая).
- Таблица 4. Двойник алмаза № 19 и псевдотетрагексаэдр № 33 (м-е Ичетью).
- Таблица 5. Комбинационные псевдооктаэдрические кристаллы алмаза № 3, 21, 26.
- Таблица 6. Псевдотетрагексаэдрические кристаллы алмаза № 2, 53.
- Таблица 7. Псевдотетраэдрические кристаллы алмаза № 35, 38.
- Таблица 8. Псевдотетрагексаэдр алмаза № 8 с золото-пallадиевой пленкой.
- Таблица 9. Сдвойникованный псевдооктаэдр алмаза № 31 с пленкой Au_2Pd_3 .
- Таблица 10. Псевдотетрагексаэдр алмаза № 39 с золото-пallадиевой пленкой.
- Таблица 11. Алмаз № 78 с золото-пallадиевой пленкой и алмаз № 58.
- Таблица 12. Алмаз № 86 с золото-пallадиевой пленкой и алмаз № 94.
- Таблица 13. Псевдотетрагексаэдры кристаллов алмаза № 51, 52, 24.
- Таблица 14. Комбинационный алмаз № 56 и двойник алмаза № 57.
- Таблица 15. Псевдотетрагексаэдры алмаза № 59 и 63.
- Таблица 16. Двойник кристалла алмаза № 87 не диагностируемого габитуса.
- Таблица 17. Псевдотетрагексаэдры алмаза № 88 и 92.
- Таблица 18. Гладкогранные псевдотетрагексаэдры алмаза № 80, 81, 83, 85, 90, 91.
- Таблица 19. Псевдотетрагексаэдры алмаза № 95, 96, 97.

Месторождение Ичетью, карьер № 100 (коллекция ЗАО Тимангеология)

- Таблица 20. Резорбированный псевдотетрагексаэдр алмаза № 125.
- Таблица 21. Двойник кривогранного алмаза № 129 с включениями.
- Таблица 22. Кривогранные алмазы – псевдооктаэдр № 131 и псевдотетрагексаэдр № 133.
- Таблица 23. Алмазы № 134, 126 с отпечатками минералов-спутников.
- Таблица 24. Алмазы № 139, 124 с богатой граниной скульптурой.
- Таблица 25. Алмазы № 143, 151 с богатой граниной скульптурой.
- Таблица 26. Алмазы № 147, 148 с формами роста и отпечатками минералов-спутников.
- Таблица 27. Черный поликристалл алмаза – карбонат № 0-1 и комбинационный псевдокубооктаэдр алмаза № 149.
- Таблица 28. Алмазы № 136 и 163 со следами сильного истирания – свидетельство дальнего переноса и гладкогранный изометричный псевдотетрагексаэдр алмаза № 155 ближнего сноса.
- Таблица 29. Алмазы № 157, 146 с отпечатками минералов-спутников и индукционной поверхностью совместного роста.
- Таблица 30. Алмазы № 150, 152 с богатой граниной скульптурой.

Таблица 17

Псевдотетрагексаэдры алмаза № 88(а–в) и № 92(г–е)

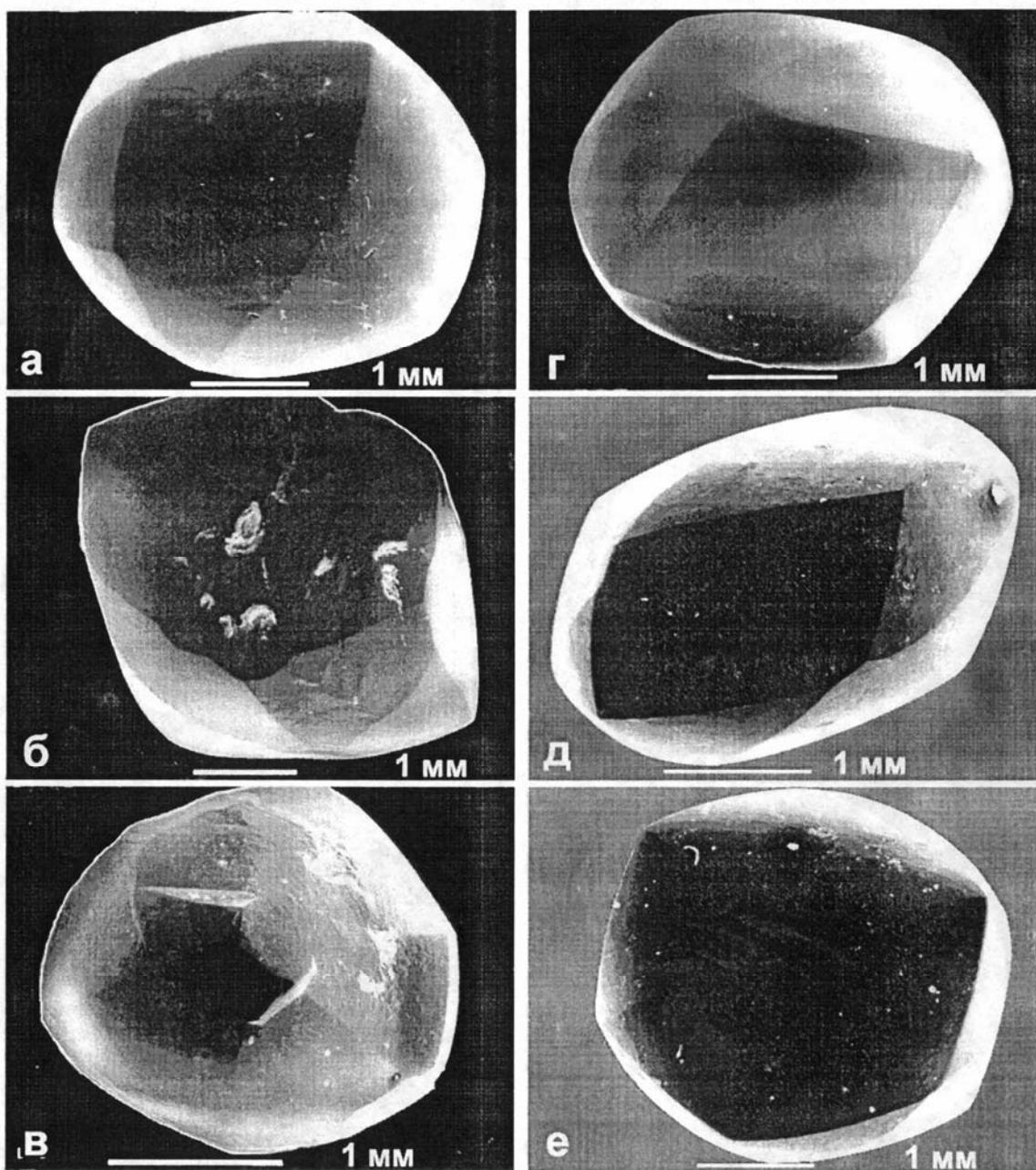


Алмаз № 88. а – общий вид, б – многочисленные отпечатки минералов-спутников, в – заметный полосчато-буторчатый рельеф, толщина полос 10–20 мкм. Прозрачный изометричный совершенный псевдотетрагексаэдр. Зеленые пигментные пятна, много коричневых мелких свиляй. Ювелирный (24.6 мг; 2.4×2.4 мм). Месторождение Ичетью.

Алмаз № 92. г – общий вид, д – грани из бугорков и вициналей 20–40 мкм величиной. е – тонкая пленка золота или золото-серебряного сплава, пробностью 900 %, толщиной 0.1–0.5 мкм сохранилась на всем кристалле в отрицательных формах рельефа между вициналями и в ямках травления. Прозрачный уплощенный псевдотетрагексаэдр с шагреневой поверхностью. Есть несколько отпечатков и сколов до 0.7 мм. Внутри несколько мелких черных включений. Ювелирный (43.8 мг; 3.1×2.9×2.6 мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 18

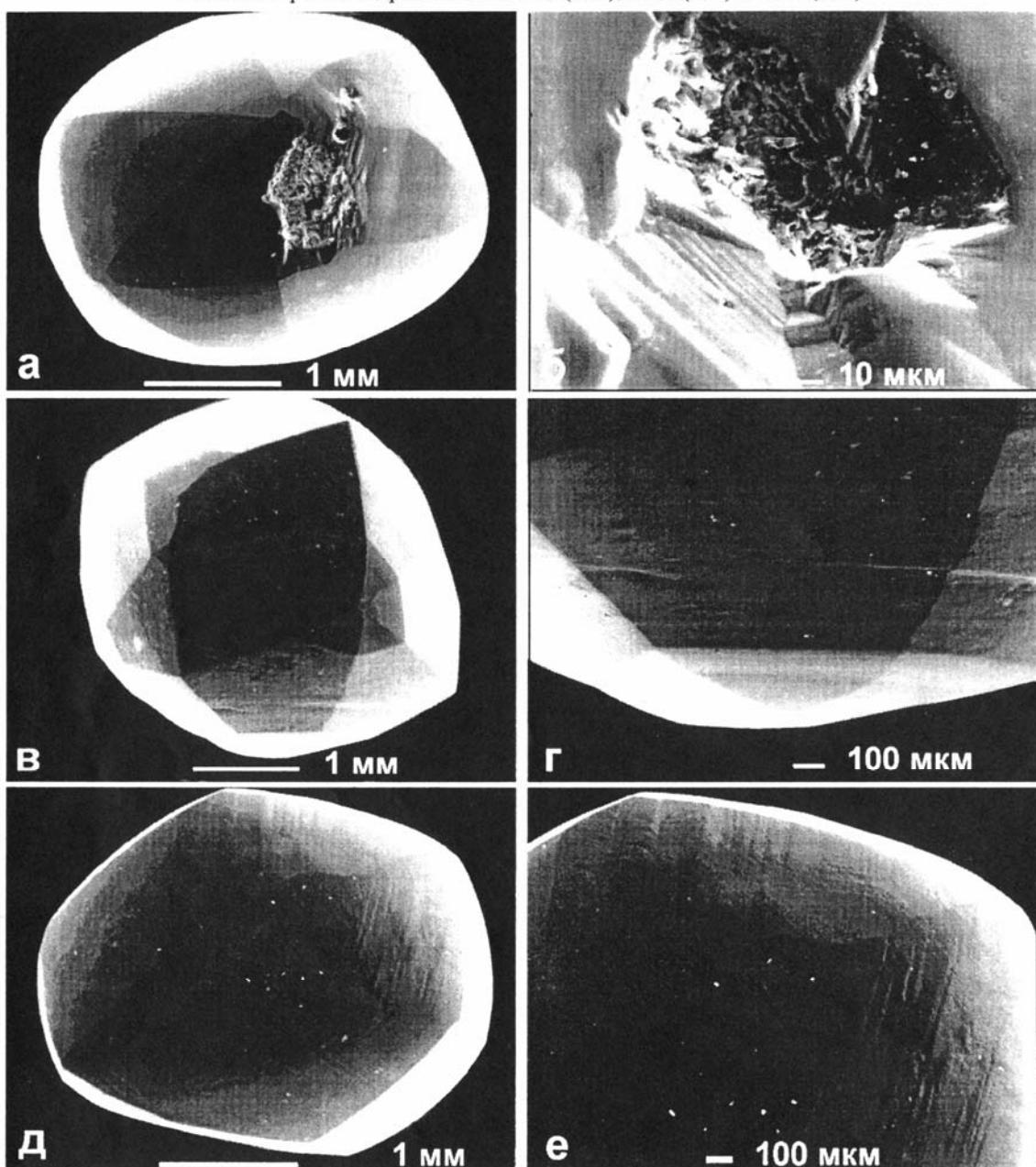
Общий вид шести гладкограных псевдотетрагексаэдров алмаза



- а – алмаз № 80. Водяно-прозрачный совершенный кристалл с гладкими гранями и редкими серповидными трещинами - свидетельство некоторой окатанности. Ювелирный полукаратник (97.7 мг; 3.6×3.5 мм).
- б – алмаз № 81. Квадратный прозрачный зеленый кристалл. Еле заметный рельеф на гранях, обусловленный несколькими отпечатками до 0.4 мм и вициналями размером от 30 до 100 мкм. В отпечатке сохранились примазки $\text{TR-Al}[(\text{P.S})\text{O}_4]$. Полу涓елирный полукаратник (113.8 мг; 4.0×3.9 мм).
- в – алмаз № 83. Водяно-прозрачный уплощенный кристалл. На гранях заметные сколы и свищи до 0.5 мм, треугольные вицинали двух порядков 10–20 и 100 мкм. Ювелирный (13.9 мг; 2.5×2.1×1.5мм).
- г – алмаз № 85. Водяно-прозрачный уплощенный гладкогранный кристалл. Ювелирный (50.1 мг; 3.5×2.8×2.0 мм).
- д – алмаз № 90. Водяно-прозрачный удлиненный кристалл с тонким рельефом из бугорков и спиралевидных вициналей, а также неглубоких округлых ямок на гранях. Ювелирный (30.96 мг; 3.4×2.1 мм).
- е – алмаз № 91. Водяно-прозрачный изометричный уплощенный кристалл (возможно двойник) с гладкими гранями, мелкими бугорками и треугольными вициналями размером 100–300 мкм, мелкие серповидные трещинки. Ювелирный (65.04 мг; 3.8×3.5×2.5 мм). Все кристаллы из месторождения Ичетью.

Таблица 19

Псевдотетрагексаэдры алмаза № 95(а, б), № 96(в, г) и № 97(д, е)



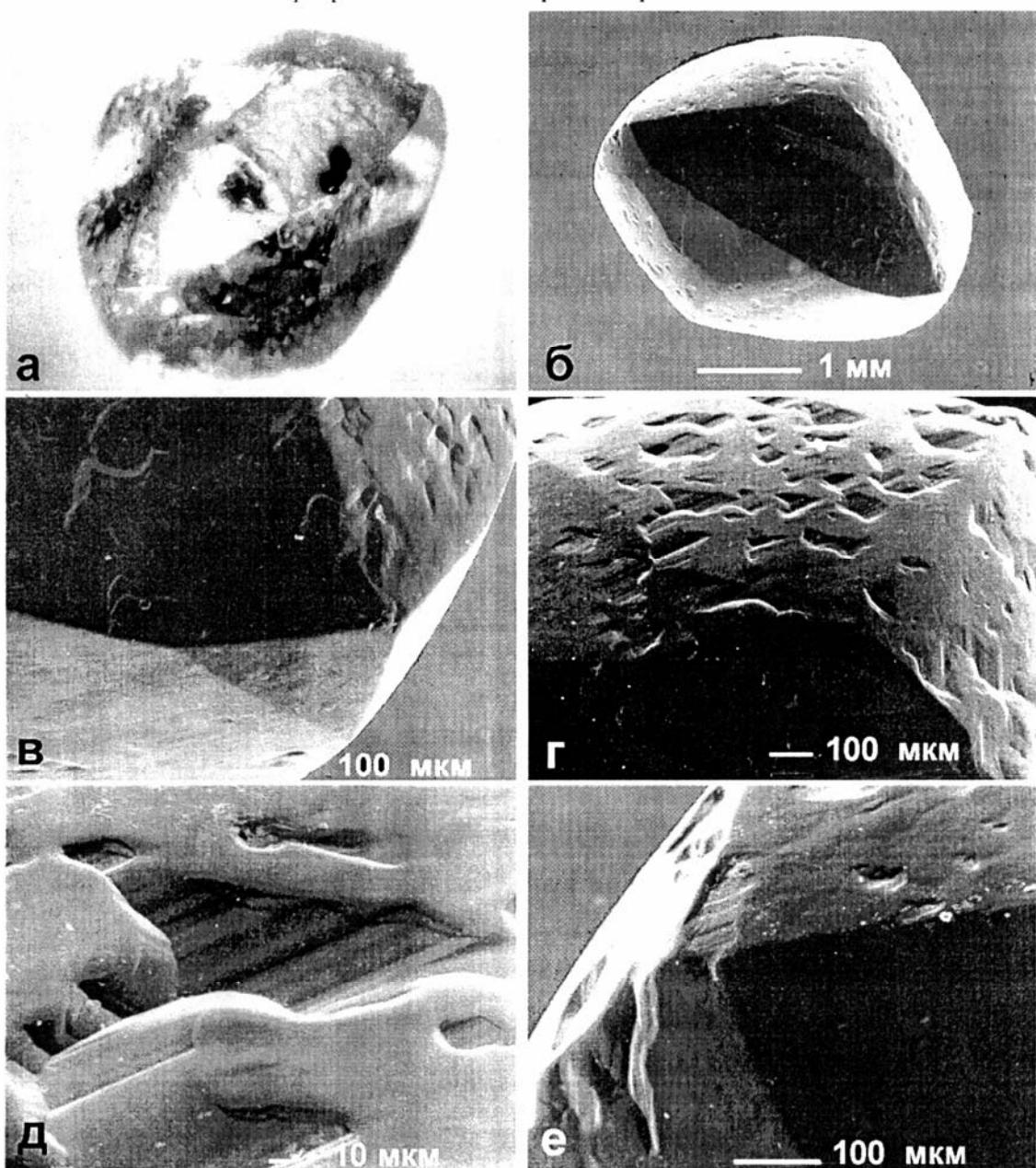
Алмаз № 95. а – общий вид, б – в отпечатках сохранились самородный висмут, а также флогопит и хлорит. Водяно-прозрачный слабо удлиненный псевдотетрагексаэдр с отпечатками на гладких гранях, наблюдаются треугольные вицинали размером 30×60 мкм, с одной стороны небольшой скол. Ювелирный (54.7 мг; 3.3×2.5 мм). Месторождение Ичетью.

Алмаз № 96. в – общий вид, г – на гранях бугорки роста и вицинали длиной до 100 мкм. Водяно-прозрачный совершенный изометричный комбинационный кристалл (48-гранник) псевдотетрагексаэдр + псевдотригонгексаоктаэдр. Одно очень мелкое зеленое пигментное пятно (0.1 мм). Ювелирный (114.9 мг; 4.0×3.3 мм). Месторождение Ичетью.

Алмаз № 97. д – общий вид, е – ступени, штриховка и редкие вицинали (длиной до 30 мкм) на гранях. Водяно-прозрачный совершенный слабо удлиненный и уплощенный псевдотетрагексаэдр. Три зеленых пигментных пятна, черный свиль или включение графита внутри. Ювелирный (50.1 мг; 3.3×2.6 мм). Месторождение Ичетью.

Таблица 20

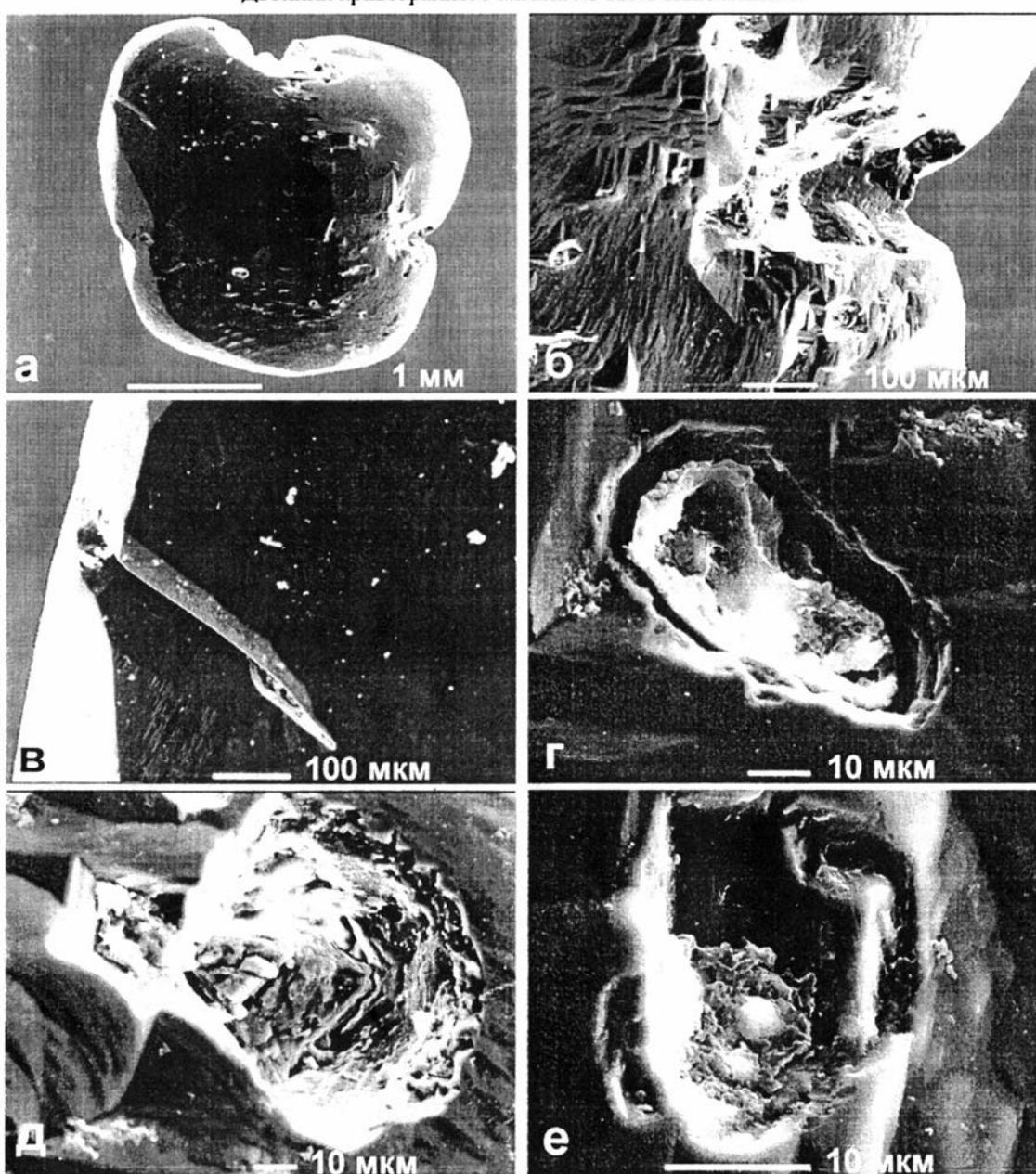
Резорбированный псевдотетрагексаэдр алмаза № 125



а, б – общий вид, в–е – фигуры растворения на гранях размером 30–200 мкм. Водяно-прозрачный удлиненный, щербатый псевдотетрагексаэдр. Внутри три включения (а) черного минерала (графита?). Ювелирный (58 мг; 3.7×2.9 мм). Месторождение Ичетью, карьер №100.

Таблица 21

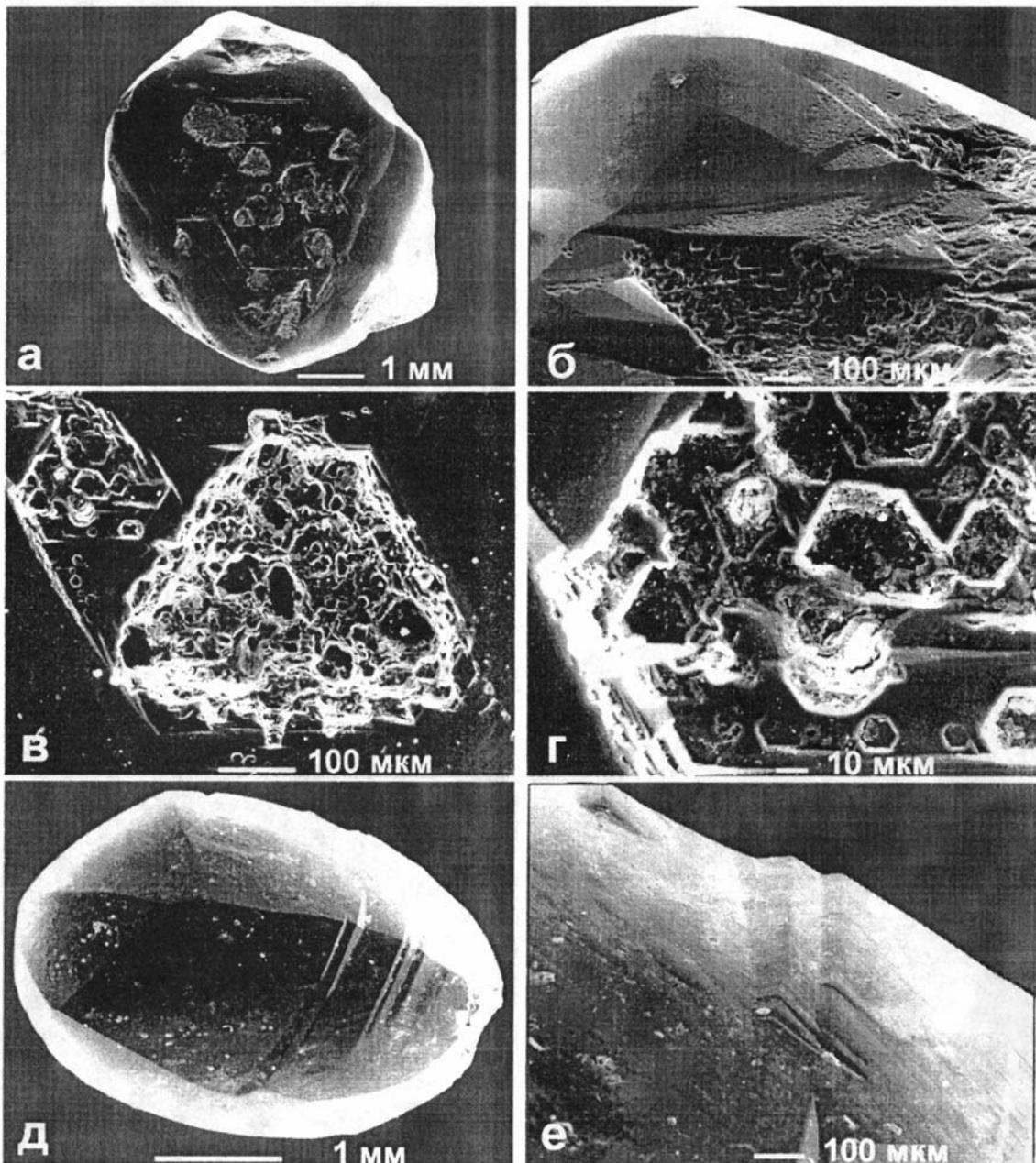
Двойник кривогранного алмаза № 129 с включениями



Алмаз № 129. а – общий вид; б, в – двойниковые швы; г, е – включения сложного состава хлорит + KCl, выходящие на поверхность; д – включение графита. Прозрачный бледно-желтый уплощенный почти квадратный двойник псевдотетрагексаэдром с входящими углами. Зеленые пигментные пятна и отпечатки минералов. Технический (21 мг; 2.8×2.6×2 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Таблица 22

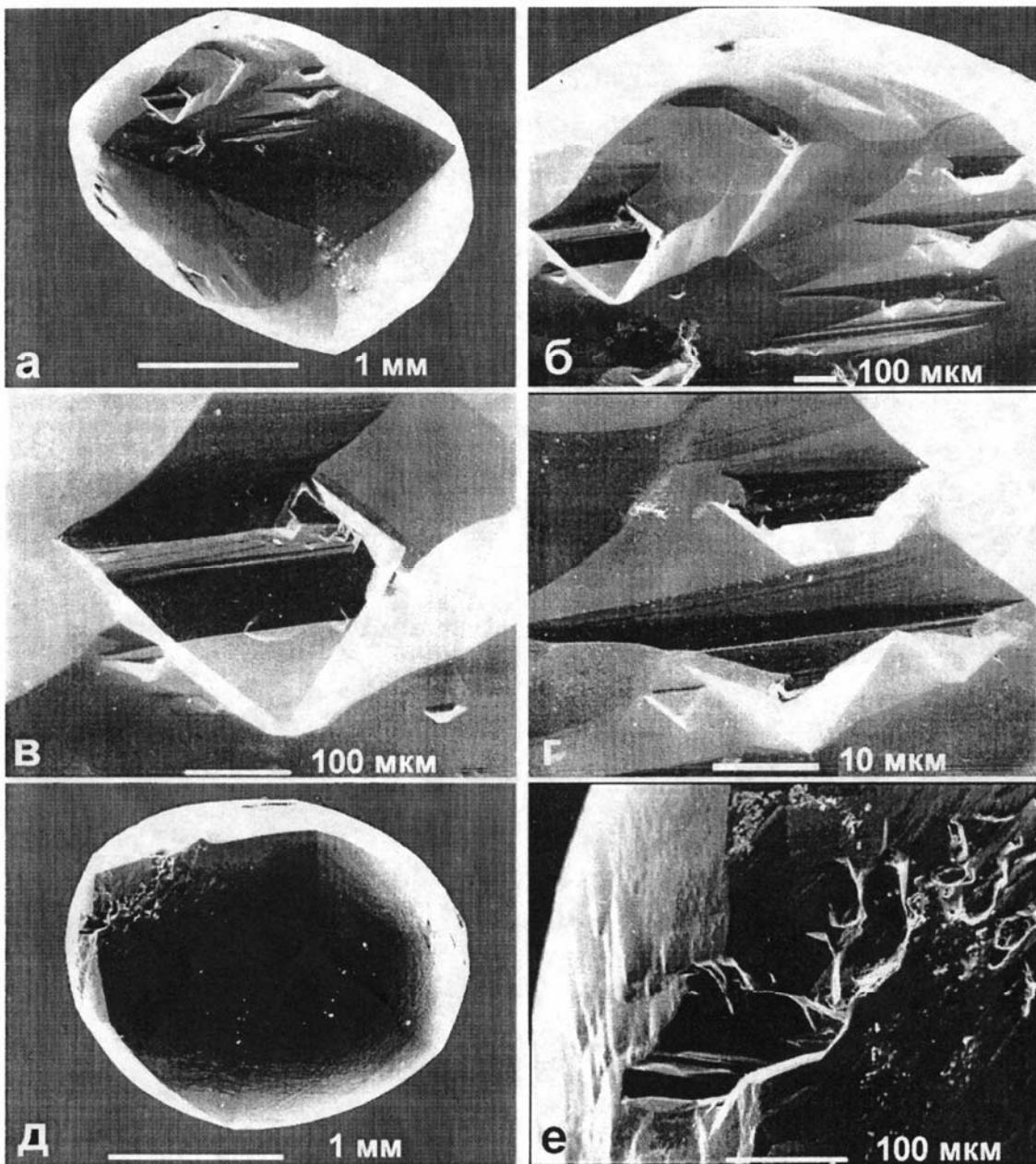
Кривогранные алмазы - псевдооктаэдр № 131(а-г) и псевдотетра-гексаэдр № 133(д, е)



Алмаз № 13. а – общий вид, б–г – многочисленные скульптурные постройки на гранях в виде отпечатков других минералов и ямок травления. Водяно-прозрачный крупный кристалл алмаза (≈ 1.1 кар), псевдотригонтиооктаэдр. Ювелирный (216 мг; $6.0 \times 5.0 \times 4.2$ мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100. Алмаз № 133. д – общий вид, е – отчетливые следы пластической деформации по [111] с входящими углами. Удлиненный псевдотетрагексаэдр, прозрачный с интенсивным желтым цветом. Заметная скульптура на гранях, пирамидальные вицинали. Ювелирный (48 мг; 3.8×2.6 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Таблица 23

Алмазы № 134(а–г) и № 126(д, е) с отпечатками минералов-спутников

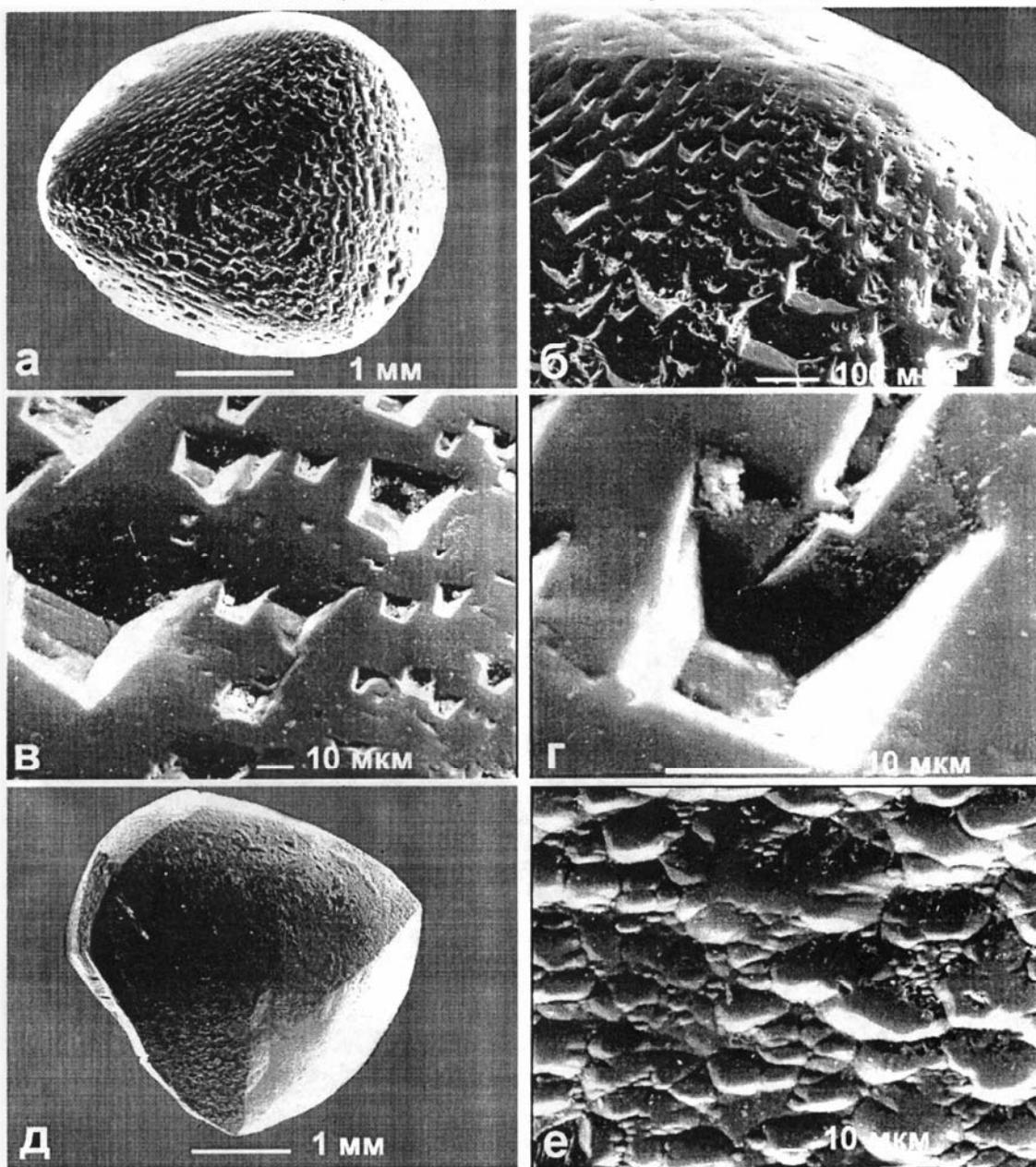


Алмаз № 134. а – общий вид, б–г – гладкие грани и отпечатки минералов-спутников. Бесцветный прозрачный слабо удлиненный псевдотетрагексаэдр. близповерхностные зеленые пятна, редкие свищи. Полу涓елирный (21 мг; 2.9×2.0 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Алмаз № 126. д – общий вид, е – сколы на поверхности и пирамидальные вицинали роста на гранях. Бледно-желтый матовый сферокристалл, псевдотетрагексаэдр. Полу涓елирный (19 мг; 2.3×1.8 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Таблица 24

Алмазы № 139(а–г) и № 124(д, е) с богатой гранной скульптурой

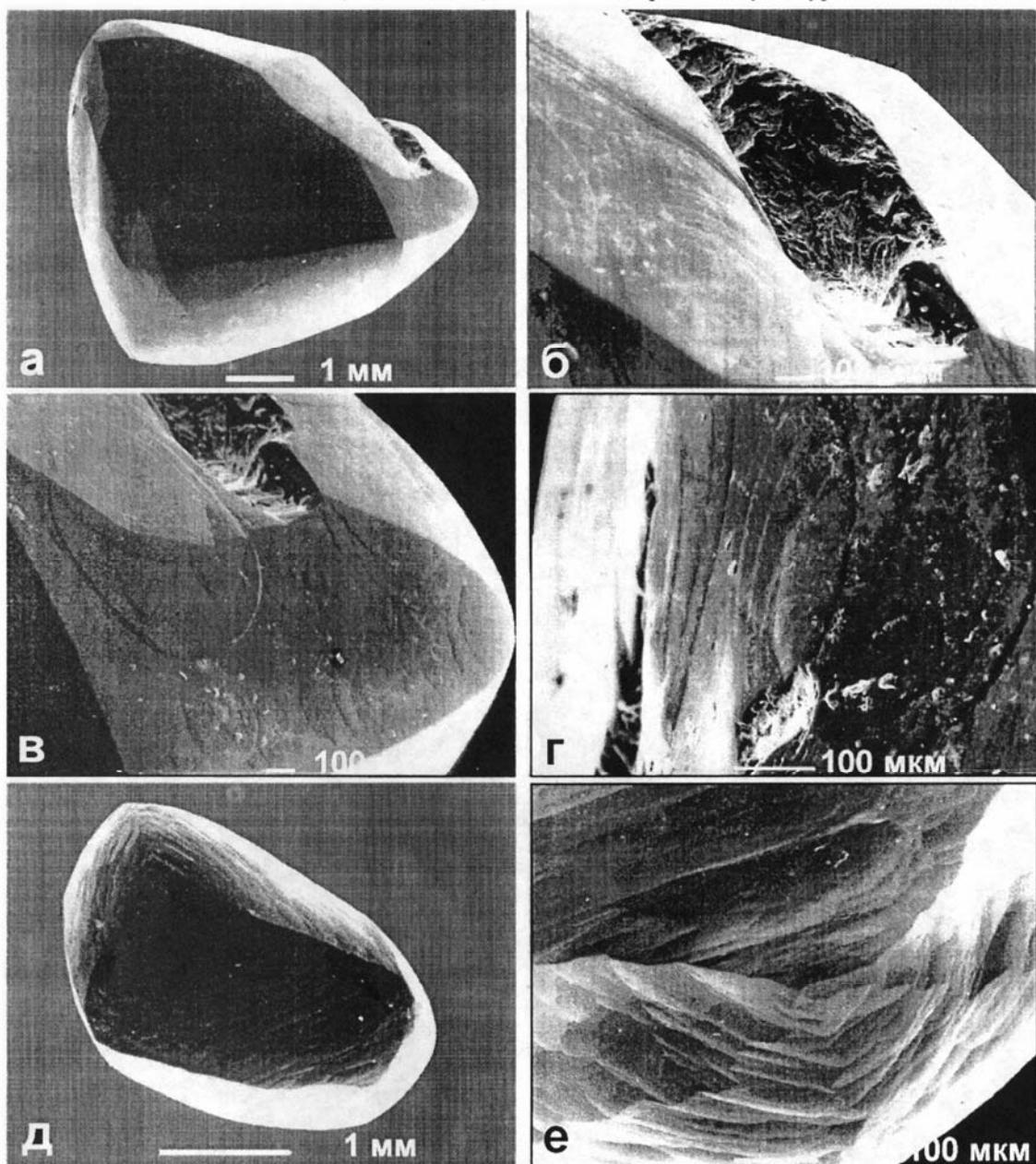


Алмаз № 139. а – общий вид, б–г – ячеистая поверхность граней с многочисленными пирамидами растворения и отпечатками. Бледно-желтый прозрачный псевдооктаэдр. Ювелирный (58 мг; 3.6×3.0 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Алмаз № 124. д – общий вид, е – вся поверхность ячеистая от вициналей роста. Матовый, зеленоватый псевдотетрагексаэдр. со свилями и черными включениями внутри. Зеленые пигментные пятна. Ювелирный (46 мг; 3.4×3×2.5 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Таблица 25

Алмазы № 143(а–г) и № 151(д, е) с богатой гранной скульптурой

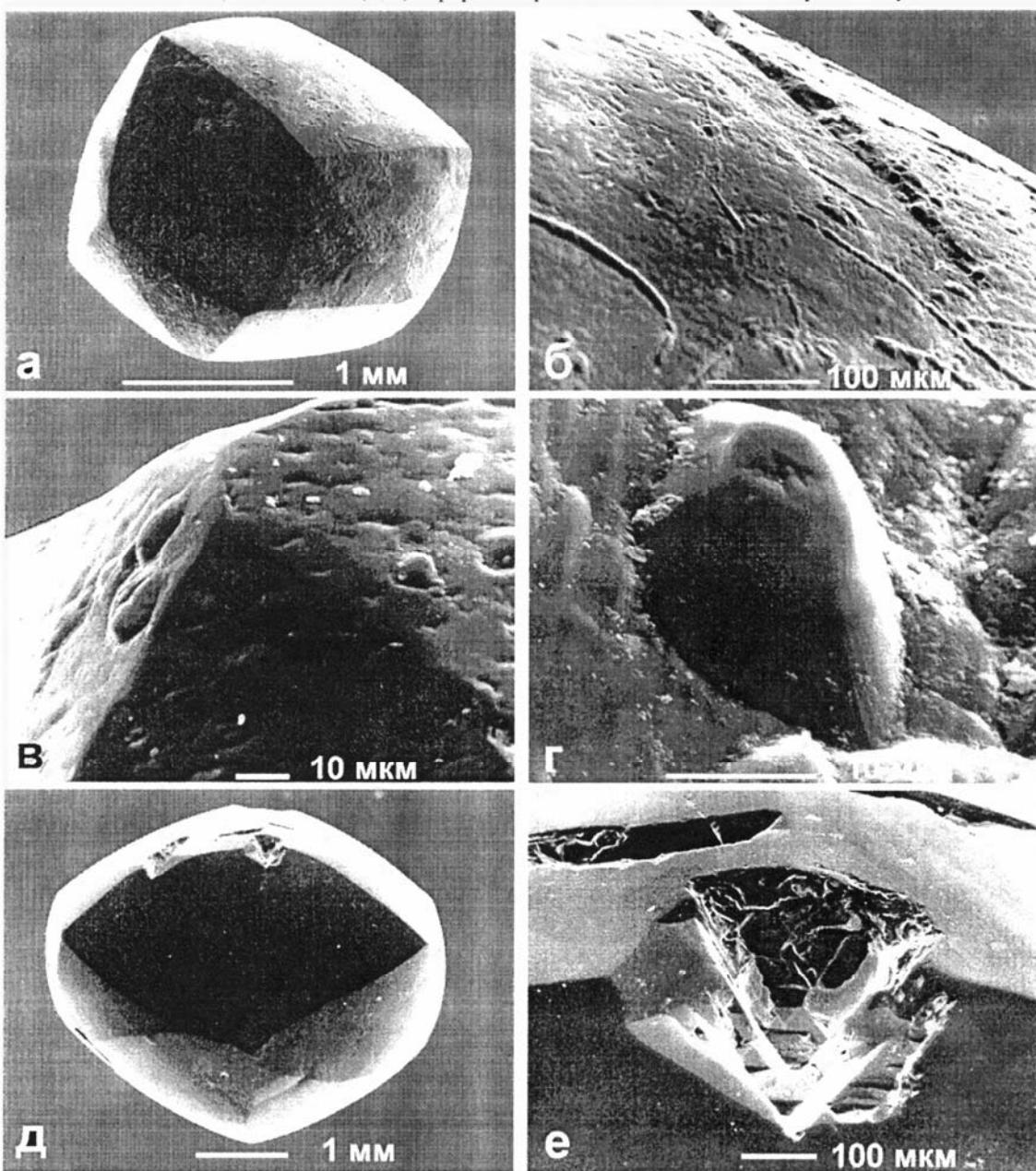


Алмаз № 143. а – общий вид, б – крупный дефект в виде глубокого бороздовидного 2.0×0.5 мм отпечатка минерала, в, г – очень редко встречающийся спиральный эллипсовидный рельеф на гранях. Прозрачный, со слабым желтым нацветом, крупный (1.5 кар) треугольный псевдотетрагексаэдр, без включений. Ювелирный (304 мг; $6.2 \times 5.3 \times 4.0$ мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Алмаз № 151. д – общий вид, е – мозаичная поверхность с округлыми ступенями. Бледно-зеленый, прозрачный удлиненный и уплощенный псевдотетрагексаэдр с зелеными пигментными пятнами. Полу涓елирный (22 мг; $3.1 \times 2.0 \times 1.5$ мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Таблица 26

Алмазы № 147(а–г) и № 148(д, е) с формами роста и отпечатками минералов-спутников

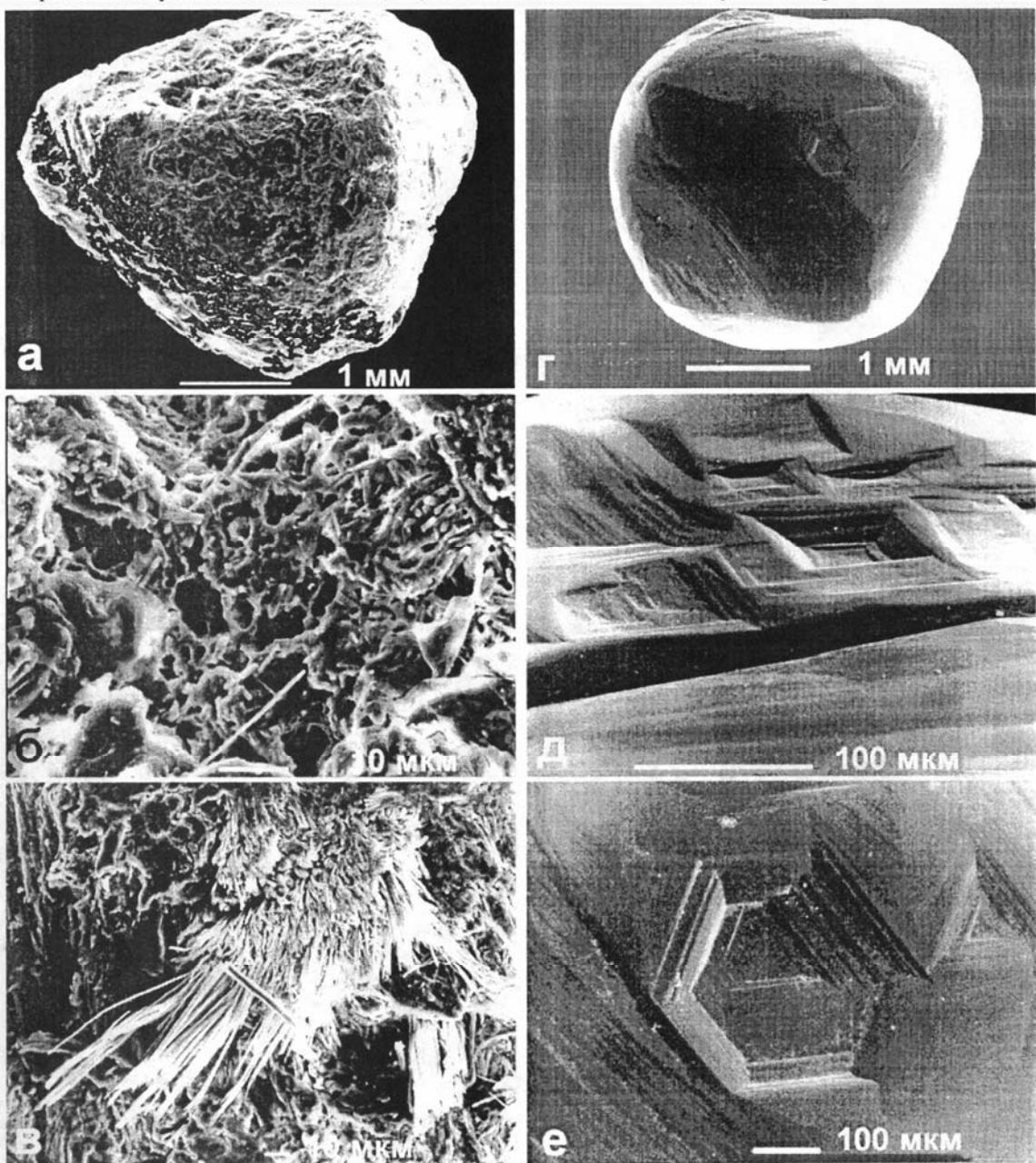


Алмаз № 147. а – общий вид, б–г – ямки травления и многочисленные бугорки роста. Бесцветный полупрозрачный изометричный псевдотетрагексаэдр, с трещинами и выбоинами на поверхности. Внутри черные графитовые включения. Полувелирный (20 мг; 2.3×2.1 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Алмаз № 148. д – общий вид, е – выбоины и отпечатки минералов-спутников. Прозрачный бледно-зеленый удлиненный псевдотетрагексаэдр (> 0.5 кар). Внутри одно большое включение прозрачного минерала. Ювелирный (106 мг; 4.4×3.6 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Таблица 27

Черный поликристалл алмаза № 0-1(а–г) и комбинационный псевдокубооктаэдр алмаза № 149(д, е)

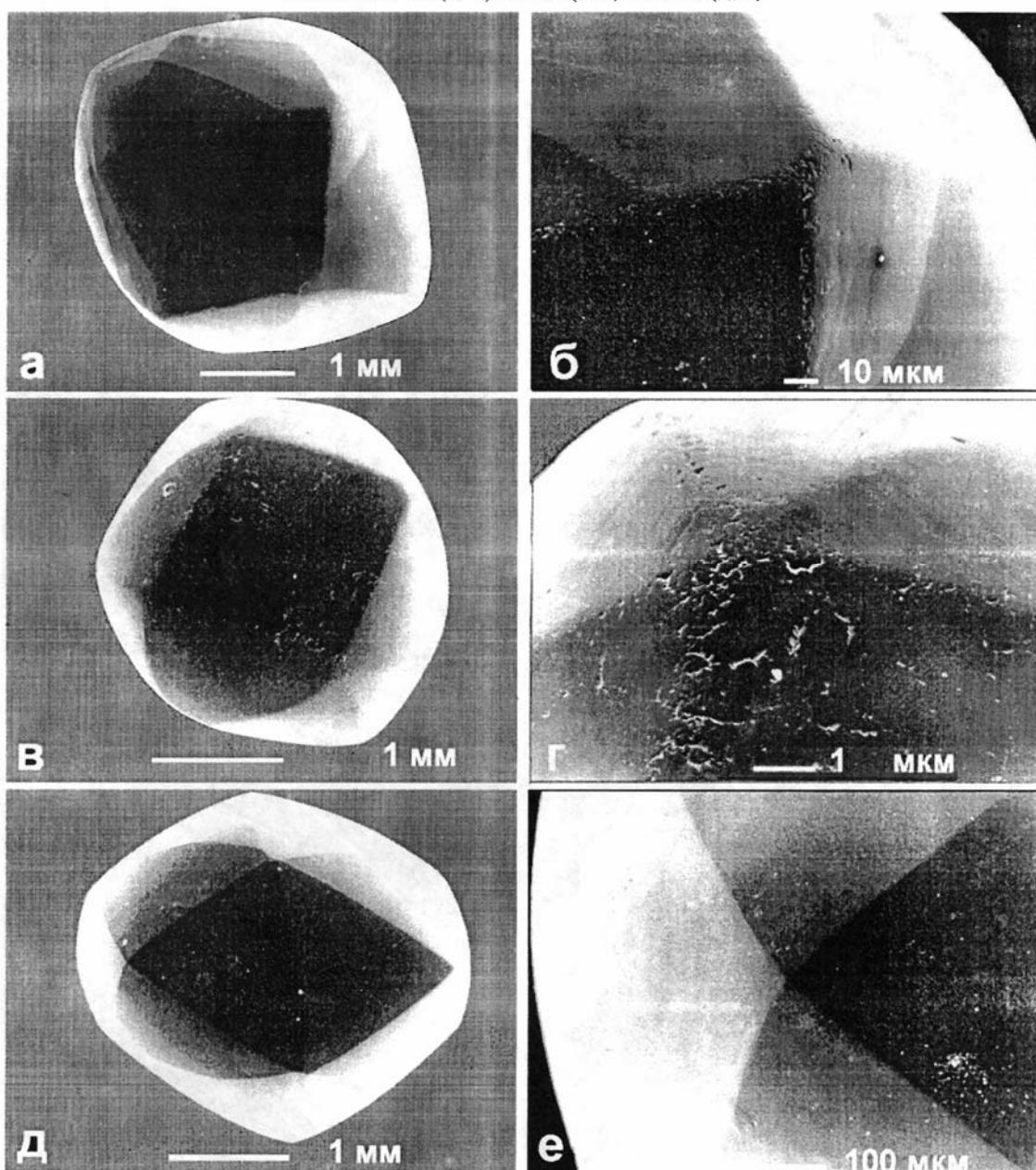


Алмаз № 0-1 – карбонадо. а – общий вид, б – формы роста и растворения, в – включение (примазка?) антофиллит-асбеста. Черный скелетный бесформенный пористый поликристалл алмаза, непрозрачный с интенсивной желто-коричневой окраской на сколе. Покрыт гидроксидами железа и местами графитовой пленкой. На микрозонде диагностированы включения оливина (Fa = 55 %), энстатита, антофиллит-асбеста, ильменита, хроммагнетита. Технический (74 мг; 4.1x3.3 мм). Месторождение Ичетью, карьер №100.

Алмаз № 149. г - общий вид; д, е - на гранях ямки травления, ступени, отпечатки минералов-спутников. Водяно-прозрачный псевдотригонхексаоктаэдр. Внутри свили и трещины, выходящие на поверхность. одно бурое включение. Ювелирный (33 мг; 3.1x3.0x2.6 мм). Месторождение Ичетью, карьер №100.

Таблица 28

Алмазы № 136(а, б), № 163(в, г) и № 155(д, е)

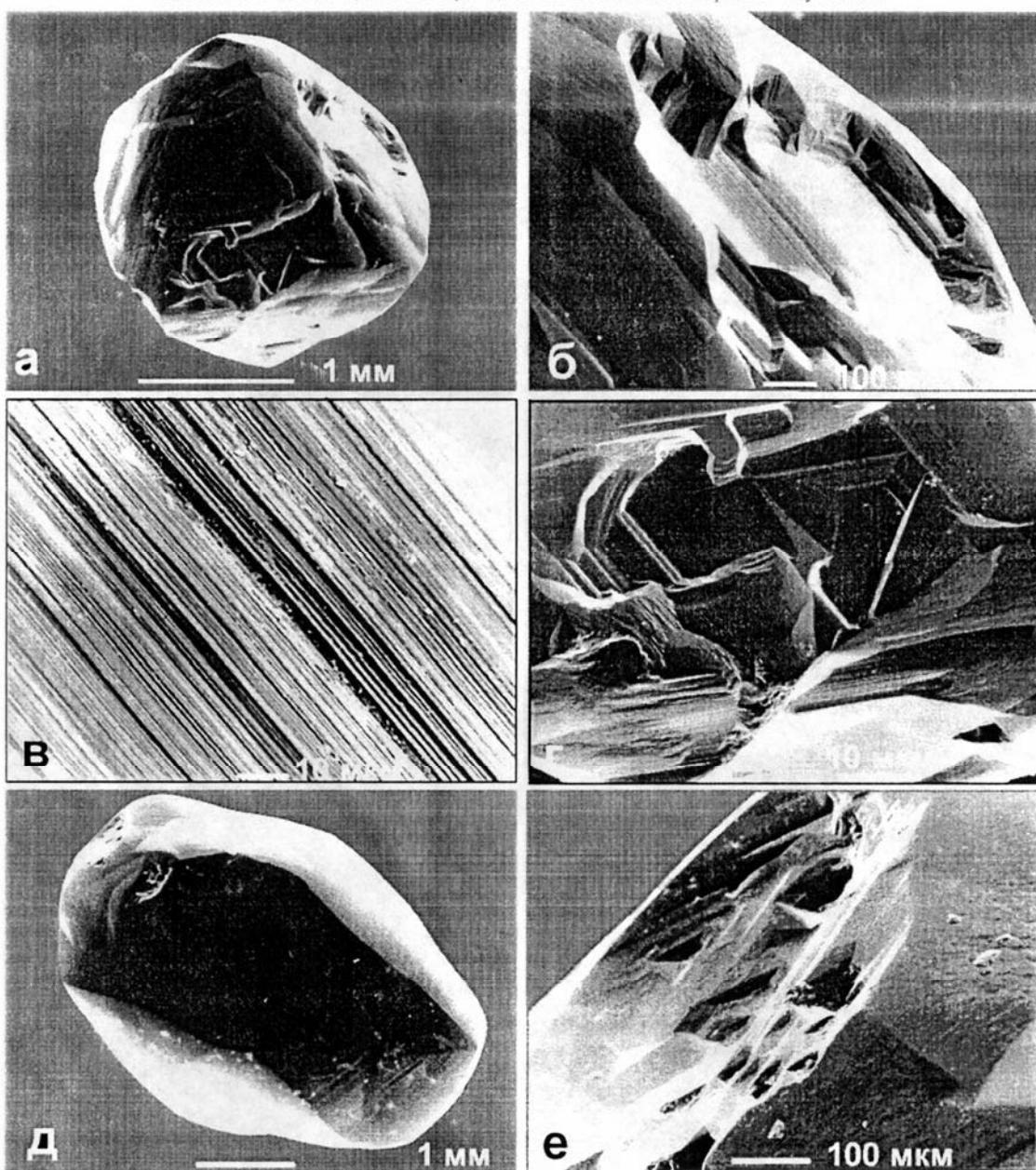


Алмаз № 136. а – общий вид, б – интенсивное истирание всех ребер – свидетельство дальнего переноса. Прозрачный бледно-желтый изометричный кристалл, комбинация псевдотетрагексаэдра и тригон-тексаоктаэдра. Гладкие грани без скульптуры, без дефектов и включений. Ювелирный (99 мг; 3.6×3.5 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Алмаз № 163. в – общий вид, г – сильно изношенные ребра и грани – свидетельство дальнего переноса. Прозрачный бледно-желтый псевдотетрагексаэдр. Внутри совершенный. Ювелирный (37 мг; 3×2.7×2.5 мм). Алмаз № 155. д – общий вид, е – гладкогранный кристалл. Прозрачный бесцветный псевдотетрагексаэдр. Внутри кристалла свищи и множество включений: графит, хромшпинелид (?), газовые. Ювелирный (46 мг; 3.3×3.0 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Таблица 29

Алмазы № 157(а–г) и № 146(д, е) с отпечатками минералов-спутников

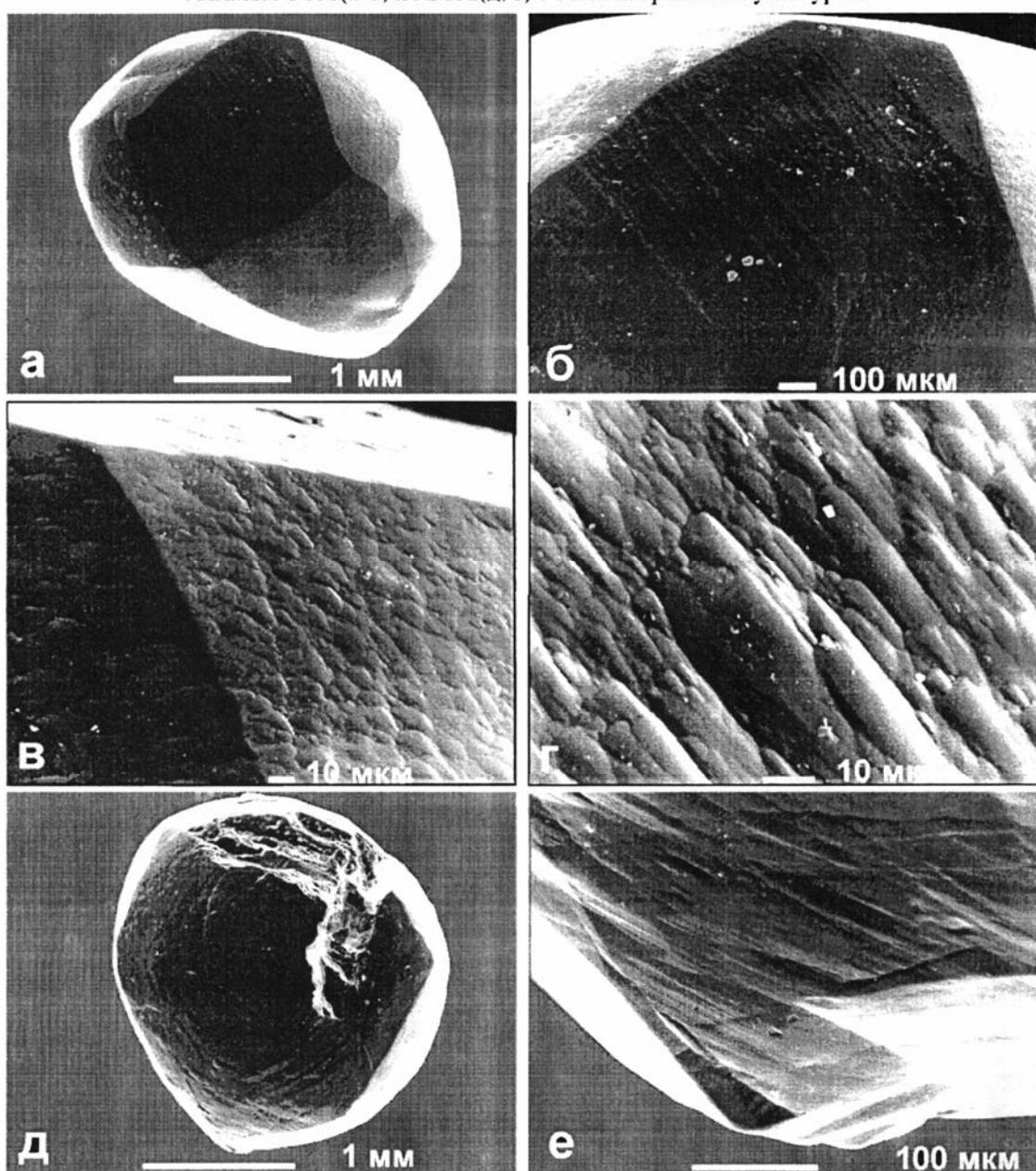


Алмаз № 157. а – общий вид, б, г – на гранях отпечатки других кристаллов, в – индукционные поверхности совместного роста. Кристалл явно рос в стесненных условиях вместе с другими кристаллами алмаза. Прозрачный со слабым желтым нацветом уплощенный псевдооктаэдр с шагреневой поверхностью. Полу涓елирный (16 мг; 2.3×2.1 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Алмаз № 146. д – общий вид, е – богатая скульптура на гранях (ступени, отпечатки минералов-спутников, следы пластической деформации, бугорки роста с выбоинами, свилями и трещинами). Прозрачный темно-желтого цвета удлиненный псевдотетрагексаэдр. Ювелирный (95 мг; 4.7×3.2 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Таблица 30

Алмазы № 150(а–г) и № 152(д, е) с богатой гранной скульптурой



Алмаз № 150. а – общий вид, б–г – сложная скульптура на гранях: ступени, бугорки роста. Матовый полупрозрачный бледно-желтый слабо удлиненный псевдотетрагексаэдр. Ювелирный (47 мг; 3.6×2.7 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

Алмаз № 152. д – общий вид, е – выбоины и входящие углы. Коричневый непрозрачный изометрический псевдотетрагексаэдр. Богатая скульптура: пирамиды роста, следы пластической деформации. Технический (27 мг; 2.3×2.1 мм). Месторождение Ичетью, карьер № 100.

АЛМАЗЫ СРЕДНЕГО ТИМАНА

Оригинал-макет
C.A.Рахматулин

Редактор
H.A.Боринцева

Лицензия КР №0021
Компьютерный набор. Подписано в печать 26.10.99. Формат 60×90^{1/8}
Печать РИЗО. Усл.печ.л. 8.25. Уч.-изд.л.8.5. Тираж 200. Заказ № 220.

Издательско-полиграфический отдел института геологии Коми НЦ УрО РАН
167610 ГСП, Сыктывкар, ул.Первомайская, 54