

# ГЕММОЛОГИЯ АЛМАЗА



Федеральное агентство по образованию  
Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе  
Якутский государственный университет им. М.К. Аммосова

# ГЕММОЛОГИЯ АЛМАЗА

Допущено УМО вузов РФ по образованию в области  
прикладной геологии в качестве учебника для студентов вузов,  
обучающихся по геологическим специальностям

Москва 2008

УДК 553.811(075.8)

ББК 26.31Я73:

А 51

Рецензенты: Соболев Н.В.- академик РАН, советник РАН.

Клочков Н.Н. - к.т.н., проф. кафедры «Комплексное освоение россыпных и морских месторождений», РГГРУ.

Научный редактор: Ю.П. Солодова – к.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой геммологии Российского государственного геологоразведочного университета; генеральный директор НОУ «Геммологический институт»

**А 51 Геммология алмаза: учебник/ Ю.П. Солодова, М.В. Николаев, К.К. Курбатов и др.- Москва, 2008. – 416 с.**

Первое в России издание, включающее вопросы геммологии алмаза в полном объеме: кристаллографии, минералогии, геологии месторождений алмаза, промышленной классификации алмазного сырья, применения алмазов, оценки ограненных алмазов и рынка.

Предназначено для студентов, преподавателей, специалистов, интересующихся проблемами в области геммологии и технологии обработки драгоценных камней и металлов.

Авторы выражают глубокую благодарность за помощь в подготовке и издании книги руководству АК «АЛРОСА» в лице президента компании С.А. Выборнова, вице-президента В.А. Потрубайко и вице-президента С.А. Улина.

Авторы благодарят коллективы Центра сортировки алмазов АК «АЛРОСА», Якутского филиала «Алмазная палата» и кафедры геммологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе и лично: О.П. Попова, А.К. Ефимову, И.Г. Лукьянчикова, И.Н. Филатова, А.В. Белова, А.К. Агафонову, С.К. Потапова, В.В. Парникова, А.А. Аргунову, А.И. Никитину, М.Д. Гасанова, Е.С. Ермакову, Г.Ю. Криулину и А.А. Панченко за сотрудничество, поддержку книги и полученные информационные материалы.

Авторы выражают глубокую признателность советнику РАН академику РАН Н.В. Соболеву и профессору кафедры «Комплексное освоение россыпных и морских месторождений» РГГРУ Н.Н. Клочкову за их нелёгкий труд по рецензированию работы и ценные замечания.

Авторский коллектив:

Ю.П. Солодова - к.г.-м.н., профессор, заведующая кафедрой геммологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе; генеральный директор НОУ «Геммологический институт»;

М.В. Николаев - д.э.н., профессор кафедры технологии обработки драгоценных камней и металлов Якутского государственного университета им. М.К. Аммосова;

К.К. Курбатов - зам. генерального директора предприятия ЕСО АК «АЛРОСА»;

С.А. Ягупов - директор Центра сортировки алмазов АК «АЛРОСА»;

Е.А. Седова - доцент кафедры геммологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе; заведующая учебным отделом НОУ «Геммологический институт»;

З.К. Решетина - доцент кафедры геммологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе;

В.П. Путинцев - доцент кафедры геммологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе;

Л.А. Фокина - доцент кафедры геммологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе;

С.Б. Моисеева - старший преподаватель НОУ «Геммологический институт»;

А.В. Ножкина - д.т.н., зав. лабораторией ВНИИАЛМАЗ; проф. кафедры геммологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе;

А.М. Налетов - к.ф.-м.н., ст.н.с. ВНИИАЛМАЗ, доцент кафедры геммологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе;

Ю.А. Клюев - к.ф.-м.н., заведующий сектором ВНИИАЛМАЗ; профессор кафедры геммологии Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе;

В.Г. Винс - к.ф.-м.н., вице-президент ООО «Новые бриллианты Сибири»;

А.П. Елисеев - к.ф.-м.н., ст.н.с. Института геологии и минералогии СО РАН;

С.И. Митюхин - к.г.-м.н., зам. исполнительного директора, главный геолог АК «АЛРОСА»;

С.А. Граханов - к.г.-м.н., зам. главного геолога ОАО «Нижне-Ленское»;

С.П. Бокайло - ведущий эксперт Центра сортировки алмазов АК «АЛРОСА».



**Столетию академика  
Лауреата Ленинской и Сталинской премий,  
Героя Социалистического Труда,  
Заслуженного деятеля науки и техники  
Республики Саха (Якутия)  
Владимира Степановича Соболева  
посвящается**

30 мая 2008 года исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося российского геолога академика Лауреата Ленинской и Сталинской премий, Героя Социалистического труда, Заслуженного деятеля науки и техники республики САХА (Якутия) Владимира Степановича Соболева.

Именно он первый предсказал возможность существования алмазоносной провинции в Сибири.

В 1937 г. Владимир Степанович делает интересный доклад на Международном геологическом конгрессе в Москве, в котором высказывает предположение, что на севере Сибирской платформы, в частности, на реке Вилюй в Якутии, должны быть кимберлитовые трубы, содержащие алмазы. Перед самой войной, уже будучи одним из самых молодых докторов и профессором, в научном докладе он говорит о своей твердой уверенности, что не где-нибудь, а именно в Якутии нужно искать месторождения алмаза. Предположение В.С. Соболева подтвердилось, и в 1954 году именно в Якутии было открыто первое в СССР коренное месторождение алмазов - кимберлитовая трубка «Зарница».

У выдающегося российского геолога академика Владимира Степановича Соболева была очень непростая судьба. Он родился в г. Луганске в дворянской семье. Его отец погиб в Первую мировую войну, а в 1919 году от рук бандитов погибла мать. В 11 лет он остался круглым сиротой.

В 1926г. он поступил и в 1930г. досрочно окончил Ленинградский Горный институт. Среди его учителей были такие крупнейшие ученые как А.Н. Заварецкий, В.Н. Лодочников, А.К. Болдырев, С.С. Смирнов, В.Д. Никитин - прямые ученики и последователи гениального русского ученого В.С. Федорова. Еще в студенческие годы (с 1928г.) В.С. Соболев начал заниматься научной работой, изучая сибирские траппы в Геологическом комитете, а затем в ЦНИГРИ (теперь ВСЕГЕИ), завершившиеся публикацией монографии «Петрология траппов Сибирской платформы» (1936г.), защищенной в 1938г. в качестве докторской диссертации, когда ему было всего 30 лет. Главным направлением всей дальнейшей научной деятельности В.С. Соболева стало применение физико-химических методов для анализа петрологических процессов, положенное в основу этой монографии. Именно в ней впервые высказана идея о сходстве геологии Южной Африки и Сибирской платформы. К этому же периоду относится и разработка им поставленной А.П. Буровым в 1938г. научной темы: «Сравнительное изучение геологических структур заграничных месторождений алмазов и сопоставление их с геологическими структурами отдельных районов СССР». В отчете по этой теме, поступившем в фонды ВСЕГЕИ в 1941г. (№7537) указано: «Наибольшее сходство с областью распространения кимберлитов Южной Африки имеет Сибирская платформа. Это сходство еще увеличивается в связи с открытием автором на полуострове Таймыр и Г.Г. Мором (при консультации автора) в районе р. Хатанга щелочных основных пород типа лимбургита, авгитита и альмейита, близких мелилитовым базальтам Южной Африки, сопровождающим кимберлиты. Вопросом поисков кимберлитов и алмазов должна уделять серьезное внимание каждая экспедиция, работающая на севере Сибирской платформы. Особо нужно обратить внимание

на поиски алмазов в разрабатываемых россыпях благородных металлов в районе Норильска и на Вилюе».

Именно в бассейне р. Вилюй через 14 лет была открыта трубка «Мир».

С началом Великой Отечественной войны В.С. Соболев вместе с семьей и институтом был эвакуирован в г. Иркутск, после возвращения откуда его пригласили в Львов, где он организовал геологический факультет во Львовском университете. В 1951 году он был избран членом-корреспондентом Академии наук УССР.

К концу 50-х гг. его имя было уже хорошо известно в науке, и когда начало создаваться Сибирское отделение АН СССР, академики А.А. Трофимук и М.А. Лаврентьев пригласили его на работу в Сибирь.

В Новосибирске Владимир Степанович в течение более 20 лет руководил Отделением минералогии и петрографии в Институте геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР, был организатором и первым деканом геолого-геофизического факультета Новосибирского государственного университета. Свидетельством высочайшего международного научного авторитета Владимира Степановича Соболева явилось его избрание президентом Международной минералогической ассоциации и почетным членом многочисленных зарубежных геологических и минералогических обществ. Под его руководством сформировалась знаменитая Сибирская алмазная школа, включающая в себя исследователей с мировыми именами, среди которых академики и член-корреспонденты РАН, доктора наук, в том числе нынешний председатель СО РАН академик Н. Добречев и два сына Владимира Степановича - академик РАН Николай Владимирович Соболев и член-корреспондент РАН Александр Владимирович Соболев.

Президиум РАН, отмечая 100-летие со дня рождения, постановил присвоить имя В.С. Соболева Институту геологии и минералогии (ИГМ) СО РАН.

*Авторский коллектив*

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
<b>ГЛАВА I. Месторождения алмазов.....</b>	<b>11</b>
1.1. Типы коренных месторождений алмазов.....	11
1.1.1. Общие сведения о полигенных коренных месторождениях алмазов, их генетическая и геолого-промышленная классификации.....	11
1.1.2. Минеральный состав кимберлитов и вещественно-индикационные модели кимберлитов.....	32
1.1.2.1. Минеральный состав кимберлитов.....	32
1.1.2.2. Вещественно-индикационные модели кимберлитов.....	34
1.1.3. Характеристика месторождений алмазов лампроитового типа.....	38
1.2. Типы россыпных месторождений алмазов.....	43
1.2.1. Общие сведения и понятия.....	43
1.2.2. Основные промышленные типы россыпных месторождений алмазов.....	49
1.2.2.1. Возраст, генезис и морфология россыпей.....	49
1.2.2.2. Генетические и морфологические типы россыпей алмазов.....	49
1.3. Добыча и обогащение алмазов.....	72
<b>ГЛАВА II. Минералогия алмаза.....</b>	<b>79</b>
2.1. Химический состав и химические свойства алмаза.....	79
2.1.1. Полиморфные модификации углерода.....	79
2.1.2. Химический состав. Химические свойства.....	81
2.2. Структура алмаза.....	82
2.2.1. Общие понятия кристаллографии.....	82
2.2.2. Структура алмаза и дефектно-примесные центры в структуре алмаза.....	85
2.2.3. Физическая классификация алмазов.....	94
2.3. Кристалломорфология алмаза.....	95
2.3.1. Простые формы и комбинации. Двойники и сростки.....	95
2.3.2. Разновидности кристаллов и поликристаллических образований алмаза.....	97
2.3.3. Морфология и внутреннее строение кристаллов алмаза.....	99
2.3.4. Скульптуры на гранях алмаза.....	103
2.3.5. Изменение характера поверхности и форм кристаллов в процессе коррозии.....	104
2.3.6. Изменение характера поверхности и форм кристаллов в результате механического износа.....	104
2.4. Оптические свойства.....	105
2.4.1. Показатель преломления и отражательная способность алмаза.....	105
2.4.2. Аномальное двупреломление в кристаллах алмаза.....	105
2.5. Окраска алмазов.....	107
2.5.1. Механизм формирования цвета и центры окраски в алмазах.....	107
2.5.2. Природа окраски алмазов.....	109
2.6. Люминесценция алмазов.....	116
2.7. Электрические и термические свойства алмаза.....	119
2.7.1. Электрические свойства алмаза.....	119
2.7.2. Фотопроводимость.....	119
2.7.3. Термические свойства алмаза.....	120
2.8. Механические свойства.....	121
2.9. Включения в алмазах.....	124
<b>ГЛАВА III. Промышленная классификация алмазного сырья.....</b>	<b>127</b>
3.1. История создания классификации по сортировке алмазного сырья.....	127
3.2. Технические условия ТУ 47-2-73 на алмазное сырье.....	129
3.3. Торговая классификация алмазного сырья.....	132
3.4. Промышленная классификация оценки алмазного сырья.....	133
3.4.1. Размер.....	133
3.4.2. Форма.....	135
3.4.3. Качество.....	137
3.4.4. Цвет.....	139
3.5. Технология сортировки алмазного сырья.....	141
3.6. Условный сортировочный класс -0,5+0,2; -1+0,5.....	149

3.7. Условный сортировочный класс -2+1 .....	152
3.8. Условный сортировочный класс -3+2 .....	156
3.9. Условные сортировочные классы -4+3, -5+4 .....	161
3.10. Условные сортировочные классы -6+5, -7+6, -9+7 .....	173
3.11. Характеристика позиций и групп качества алмазов размерно-весовой группы -11+9 .....	188
3.12. Характеристика позиций и групп дефектности алмазов размерно-весовой группы 11-3GR .....	210
3.13. Размерно – весовая группа 4-6Gr .....	236
3.14. Размерно – весовая группа +1.8ct .....	264
<b>ГЛАВА IV. Оценка ограненных алмазов.....</b>	<b>293</b>
4.1. Классификационные признаки .....	294
4.1.1. Первый классификационный признак – масса .....	294
4.1.2. Второй классификационный признак – чистота .....	294
4.1.3. Третий классификационный признак – цвет .....	299
4.1.4. Четвертый классификационный признак – огранка .....	299
4.2. Особенности оценки бриллиантов в России (ТУ 117-4.2099-2002) .....	305
4.3. Оценка бриллиантов по системе GIA .....	317
4.4. Бриллианты фантазийных цветов .....	325
4.5. Оценка бриллиантов в оправах .....	329
4.6. Облагораживание природных алмазов по цвету и чистоте .....	331
4.7. Синтетические алмазы .....	337
4.8. Имитации бриллиантов .....	344
<b>ГЛАВА V. Области применения алмазов.....</b>	<b>349</b>
5.1. Применение технических алмазов .....	349
5.2. Алмазный инструмент .....	350
5.3. Порошки алмазные .....	371
5.4. Алмазные пасты .....	378
5.5. Алмазы и электроника .....	380
<b>ГЛАВА VI. Экономика и рынок.....</b>	<b>384</b>
6.1. История развития алмазного рынка .....	384
6.1.1. История развития алмазного рынка .....	384
6.1.2. Конкуренция и монополия алмазного рынка .....	388
6.2. Современное состояние алмазно-бриллиантового рынка .....	389
6.2.1. Структура алмазно-бриллиантового рынка .....	389
6.2.2. Интернационализация рынка .....	391
6.2.2.1. Интернационализация мирового рынка .....	391
6.2.2.2. Интернационализация российского алмазного рынка .....	393
6.3. Развитие алмазно-бриллиантового комплекса России .....	396
6.3.1. Состояние минерально-сырьевой базы и природных алмазов в России .....	396
6.3.2. Основные взаимосвязанные подсистемы алмазно-бриллиантового комплекса России .....	399
Список литературы.....	402

## ВВЕДЕНИЕ

Геммология (от лат. *gemma* - драгоценный, в более узком значении, резной, камень и греч. *logos* - учение, наука) - это научное и прикладное направление, объединяющее в себе различные аспекты изучения и работы с драгоценными камнями, в данной работе - с алмазом (рис.1).

В область определения геммологии алмаза входят соответствующие разделы учения о полезных ископаемых и горном деле, кристаллография и минералогия алмаза, промышленная классификация алмазного сырья, применение алмазов в технике и ювелирном деле, гравийное производство и оценка ограненных алмазов, синтез и облагораживание алмазов, а также вопросы, посвященные структуре и развитию современного алмазно-бриллиантового рынка.

При поисках, разведке и оценке месторождений, добыче и обогащении алмазов следует учитывать их специфику, разрабатывать и применять щадящие, максимально сохраняющие это дорогостоящее сырье методы.

Краеугольным камнем в геммологии вообще и в геммологии алмаза в частности является минералогия, изучающая его минералогические особенности и физические свойства, знание которых необходимо для любой дальнейшей работы с алмазами.

Очень специфическим разделом геммологии алмаза является промышленная классификация алмазного сырья - разделение его на тысячи сортов, соответствующих определенным классификационным признакам. Благодаря уникальным свойствам алмаз применяется в различных отраслях: в инструментах для обработки металлов и их сплавов, в буровой технике, в камнеобработке, в физике и электронике, в аппаратах высокого давления, в медицине и т.д. Особое место занимает применение алмаза в качестве ювелирного камня. Его красота, определяющаяся блеском и игрой, долговечность, связанная с высокой твердостью и химической инертностью, и редкость делают алмаз одним из наиболее высоко ценимых драгоценных камней. Красота алмаза наиболее ярко выявляется благодаря огранке. Техника и искусство огранки, а также разработка систем оценки ограненных алмазов также входят в область определения геммологии алмаза. Высокий уровень развития технологии позволяет улучшать свойства низкокачественных алмазов; повышать их прозрачность и чистоту, изменять цвет, т.е. облагораживать их, а также выращивать синтетические алмазы как ювелирные, так и технические.

Важнейшими являются вопросы развития алмазно-бриллиантового рынка.

Первое упоминание об алмазе относится ко второму тысячелетию до нашей эры в древнейших индийских Ведах. Считается, что история алмазов начинается с III века до нашей эры, когда были впервые найдены россыпные месторождения алмазов в индийской провинции Голконда. Римский историк и естествоиспытатель в I веке нашей эры Плиний Старший оставил описание камнерезного инструмента из пластинок алмаза, оправленных в железо.

В России впервые информация об алмазе встречается в книге Афанасия Никитина «Хождение за три моря». Первый российский алмаз был обнаружен мальчиком с Крестовоздвиженских золотых приисков Павлом Поповым в 1929 году на Урале. До этого времени в России были известны в основном только индийские алмазы, как с естественной огранкой, так и в виде бриллиантов, в их числе известные «Шах», «Орлов» и другие, принадлежавшие царствующим особам.

Точкой отсчета алмазной добычи в России принято считать открытие кимберлитовых месторождений в Западной Якутии в середине 50-х годов. Это событие стало главной геологической сенсацией XX века. Всего открыто более 800 трубок, и в 150-ти из них обнаружены алмазы.

В трудах якутского писателя Н.Г. Якутского сообщалось об якуте-охотнике Петре Васильеве, нашедшем алмаз весом 45 карат в 1899 году на реке Ирелях, примерно в тех местах, где позже была открыта трубка Мир. В записках якутского учителя-краеведа Петра Староватова (20-30е гг. XX века) отмечались богатые месторождения разных полезных ископаемых на реке Вилюй. Он же в своих дневниках впервые предположил наличие месторождения алмаза на реке Чона.



Рис. 1. Область определения геммологии алмазов

В 30-х годах, будущий академик В.С. Соболев, в то время молодой геолог, изучал геологическое строение Сибирской платформы, в результате чего, им были обнаружены необычайные сходства отдельных районов платформы с алмазоносными районами Африки. В отчёте за 1940 год Соболев отмечал: «...если говорить о Южной Африке, то наибольшее сходство с Южно-Африканской платформой мы имеем в области Сибирской платформы между рекой Леной и Енисеем...». Сразу после Великой Отечественной войны, в 1946 году проводятся поиски алмазных месторождений на территории Сибирской платформы, и только в 1949 году, геологическая партия Г.Х. Файнштейна нашла первый алмаз и открыла первую алмазную россыпь на реке Вилюй, названной «Соколиная». Открытие россыпей алмазов подтвердило выводы В.С. Соболева. 21 августа 1954 года Л.А. Попугаевой была открыта первая кимберлитовая трубка на территории СССР, названная «Зарница». В 50-х годах также были открыты крупнейшие трубки «Мир» и «Удачная», разрабатываемые и в наше время. Выдающийся вклад в открытие месторождений алмаза и создание алмазной отрасли внесли геологи А.Н. Буров, Е.Н. Елагина, Н.В. Кинд, Н.Н. Сарсадских, М.М. Одинцов, Л.П. Сторожук, Ю.И. Хабардин, В.Н. Щукин, Е.Д. Черных и многие другие, в том числе местные жители, каюры, инженеры строители, транспортники, обогатители и все те, кто стоял у истоков создания теперь уже высокоэффективной мощной отрасли, конкурирующей в мировой экономике. Создание треста «Якутальмаз» постановлением коллегии Министерства цветной металлургии СССР «О промышленном освоении Вилюйских алмазных месторождений» от 04 января 1957 года, открывает славную страницу истории освоения алмазных месторождений Якутии. К 1959 году на территории Сибирской платформы разрабатывались 120 кимберлитовых трубок в Вилюйском, Оленёвском и Алданском речном бассейне.

Первым управляющим трестом был назначен В.И. Тихонов, руководивший предприятием до 1968 года, на смену ему пришел Л.Л. Солдатов, до этого работавший главным инженером треста. Затем руководителями были В.В. Рудаков, В.В. Пискунов, Л. А. Сафонов. В ноябре 1992 года Указом Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина № 1581 «Об акционерной компании по добыче и реализации алмазов», Постановлением Правительства России была создана АК «Алмазы России-Саха» (впоследствии АК «АЛРОСА», являющаяся правопреемником ПНО «Якуталмаз». Президентом Компании был назначен В.В. Рудаков. Затем Президентами АК «АЛРОСА» стали А.Д. Кириллин, В.А. Штыров, В.Т. Калитин, А.О. Ничипорук, С.А. Выборнов.

В настоящее время, традиции заложенные первооткрывателями алмазов, продолжаются в работе АК «АЛРОСА», которая является одной из крупнейших и динамично развивающихся компаний международного уровня. На предприятиях Компании, их более полусотни дочерних и зависимых обществ, трудятся около 40 тыс. человек, выполняющих главную задачу - добывчу алмазов. Основу производственной базы АК «АЛРОСА», составляют Мирнинский, Удачнинский, Айхальский, Анабарский и Нюрбинский горно-обогатительные комбинаты, где применяется современное и передовое оборудование и новейшие технологии. За время существования Компания превратилась в крупнейший мировой производитель алмазов. Объем производства сырых алмазов составляет около 20% мировой добычи. Её продукция является востребованной во многих отраслях экономики.

Целью данной работы является познакомить читателя с основными разделами геммологии алмаза. Авторы надеются, что книга будет полезна как студентам, бакалаврам и магистрам, обучающимся по специализации «Геммология» специальности «Прикладная минералогия, геохимия и петрология» и специальности «Технология обработки драгоценных камней и металлов», так и специалистам отрасли, проходящим повышение квалификации в данной области, а также специалистам смежных областей, работающим с алмазами.

## ГЛАВА I. МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ

### 1.1. Типы коренных месторождений алмазов

#### 1.1.1. Общие сведения о полигенных коренных месторождениях алмазов, их генетическая и геолого-промышленная классификации

Алмазы образуются в верхней мантии, в области их термодинамической стабильности (Табл.1.1.1).

Табл.1.1.1 Главные типы коренных месторождений алмазов

Генетический тип алмаза	Тип месторождения	Форма залегания	Тип пород	Характеристика алмазов	Минералы-индикаторы
Мантийный	Кимберлитовый	Диатремы, редко дайки	Осадочно-вулканогенные туфы, ксенотуфобрекчи, туффизиты, эруптивные брекчи кимберлитов, массивные порфировые кимберлиты	Октаэдры, додекаэдроиды, двойники, сростки, редко кубы	Пироп, пикроильменит, хромшипелид, хромдиопсид, циркон, апатит, титаноклиновумит
	Лампроитовый				Хромшипелид, пироп, пикроильменит, хромдиопсид

Среди месторождений мантийного генетического типа ведущую роль играют месторождения алмазов, связанные с кимберлитами. Большинство исследователей считает, что алмаз кимберлитов кристаллизовался на большой глубине (порядка 150-200км) в мантии Земли, в области его стабильности, намного раньше образования собственно кимберлитовых тел. Источником алмазов являются дезинтегрированные мантийные породы — перидотиты и эклогиты, фрагменты которых вынесены кимберлитовой магмой в земную кору.

Около трех десятилетий назад в Австралии были открыты алмазы в трубках взрыва, выполненных лампроитами. Лампроитовая магма, как и кимберлитовая, служит транспортёром алмазов, источником которых являются те же породы верхней мантии. Коренные месторождения кимберлитового и лампроитового типов по условиям формирования и морфологии тел подразделяются на два подтипа: эксплозивные брекчи, слагающие трубки взрыва и интрузивные породы, образующие дайки, жилы и штоки. Из месторождений этого типа в настоящее время извлекается около 80% всех алмазов.

Геолого-промышленные классификации месторождений изложены ниже (табл.1.1.2)•

Основными объектами эксплуатации являются кимберлитовые трубки, гораздо реже эксплуатируются дайки и жилы.

В публикациях неоднократно появлялись и продолжают появляться сообщения о находках алмаза в различных типах изверженных пород: базальтах, пикритах, ультрабазитах и др. Достоверность большинства новых находок вызывает сомнение. В ряде случаев обнаружение алмазов в той или иной породе бывает связано либо с засорением обрабатываемых проб алмазами других пород, либо с попаданием алмазов в пробы из буровых коронок. Тем не менее, следует подчеркнуть, что нельзя полностью исключить возможность акцессорной алмазоносности тех пород, магматические расплавы которых имеют мантийное происхождение.

Таблица 1.1.2. Основные геолого-промышленные типы коренных месторождений алмазов и их характеристики.

Тип и примеры месторождений	Морфология, размеры и условия залегания	Группы месторождений по факторам			Качество алмазов	Выход ювелирных камней
		Запасы алмазов и руды	Содержание алмазов	Крупность доминирующей классы		
1.Кимберлитовый Трубки Мир, Айхал, Удачная	1.Трубки взрыва цилиндрические и конусоидные; изометричные и разной удлиненности, подразделяются по размерам площади на: Уникальные – более 250 тыс.м <sup>2</sup> , Крупные – 50–250 тыс.м <sup>2</sup> , Средние – 10–50 тыс.м <sup>2</sup> , Мелкие – менее 10 тыс.м <sup>2</sup>	1.Уникальные, более 300 млн.кар и более 500 млн.т 2.Крупные, 0,3-1,0 кар/т 3.Средние, 0,1-0,3 кар/т 4.Низкие, 0,1 кар/т 5.Весьма низкие, менее 0,1 кар/т	1.Уникальное, более 3 кар/т 2.Высокое, 1-3 кар/т 3.Среднее, 0,3-1,0 кар/т 4.Низкое, 0,1-0,3 кар/т 5.Весьма низкое, менее 0,1 кар/т	1.Уникальные, доминируют -8+4 и более мм 2.Крупные, доминируют -4+2 и -8+4мм 3.Средние, доминируют -4+2 и -2+1мм 4.Мелкие, доминируют -2+1 и -1+0,5мм	1.Уникальный, более 60% 2.Высокий, 30-60% 3.Средний, 15-30% 4.Низкий, 5-15% 5.Весьма низкий, менее 5%, технические алмазы	1.Уникальный, более 60% 2.Высокий, 30-60% 3.Средний, 15-30% 4.Низкий, 5-15% 5.Весьма низкий, менее 5%, технические алмазы
2.Кимберлит-лампроитовый Трубки Карпинского-1, Карпинского-2	30-100 млн.кар и 10-100 млн.т	4.Мелкие, менее 30 млн.кар и 10 млн.т				
3.Лампроитовый трубки Аргайл, Прейри-Крак	2.Силлы, дайки и жилы, нередко с раздувами, размером: а) средние –площадью 10-50 тыс.м <sup>2</sup> или длиной более 1км при мощности 10м и более б) мелкие –площадью менее 10 тыс.м <sup>2</sup> или длиной менее 10м, при мощности менее 10м					
				То же, что и для трубок взрыва		
				То же, что и для кимберлитового типа		
					Алмазы всех классов крупности	Средний, 15-30% Низкий, 5-15% Весьма низкий 5% Менее 5%

### Коренные месторождения алмазов кимберлитового типа

Практически все коренные месторождения алмазов мантийного происхождения сосредоточены в пределах древних кратонов, возраст которых определяется археем (рис. 1.1).

Однако за последние десятилетия были открыты несколько коренных месторождений алмазов в периферийных частях кратонов, в пределах протерозойских подвижных поясов, например алмазоносные трубы кимберлитов Восточно-Европейской платформы и лампроитовая трубка Аргайл в Западной Австралии (рис. 1.2).

В пределах древних кратонов алмазоносные диатремы выполнены классическими кимберлитами, характеризующимися всеми главными типоморфными признаками этих пород. Алмазы представлены в основном плоскогранными и скульптурированными октаэдрами, ромбододекаэдрами и промежуточными морфологическими типами, среди включений в них резко преобладает ультраосновной парагенезис минералов. В повышенных количествах присутствуют все основные индикаторные минералы: пироп, пикроильменит, хромдиопсид, хромишинеллд, для них характерны значительные вариации размерности и состава практически каждого минерала-индикатора.

Отмечается повышенное количество и широкий спектр состава ксенолитов глубинных пород (от ультраосновных до основных и титанисто-щёлочных).

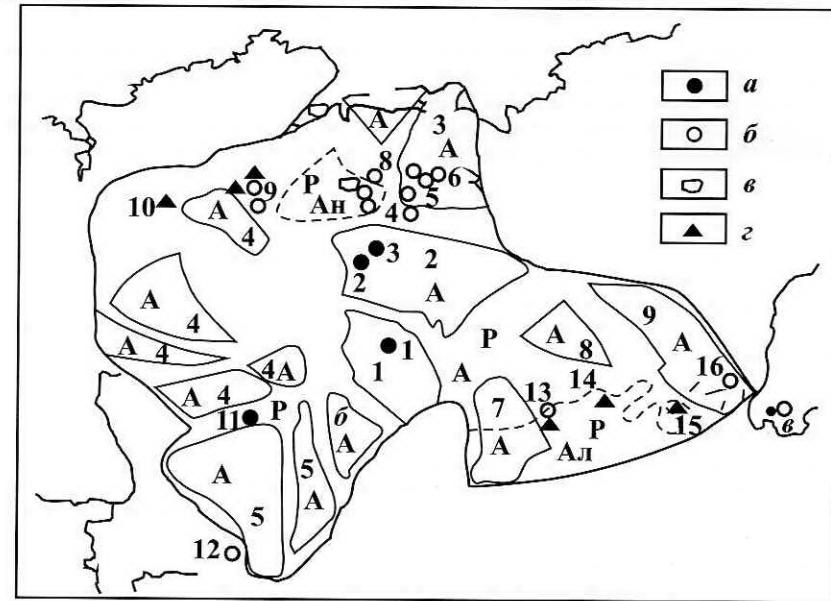


Рис. 1.1. Размещение месторождений алмазов на Сибирской платформе:  
1-16 - районы проявления кимберлитов, лампроитов и близких к ним пород: 1 - Мало-Ботубинский;  
2 - Далдыно-Алакитский; 3 - Верхне-Мунский; 4 - Средне-Оленекский; 5 - Нижне-Оленекский;  
6 - Ленский; 7 - Куонамский; 8 - Уджинский; 9 - Маймечка-Котуйский; 10 - Каменский; 11 - Чадобецкий; 12 - Окинский; 13 - Чомполинский; 14-Тобукский; 15 - Арбараахтахский; 16 - Интишайский.  
А 1-9-архоны: 1 - Вилойский; 2 - Тюнгский; 3 - Оленекский; 4 - Тунгусский; 5 - Ангарский; 6 - Верхне-Ленский; 7 - Чаро-Оленекский; 8 - Алданский; 9-Амгинский.  
Щиты: АН - Анабарский; АЛ — Алданский, а - алмазоносные кимберлиты; б - неалмазоносные кимберлиты; в - лампроиты; г - лампрофир.

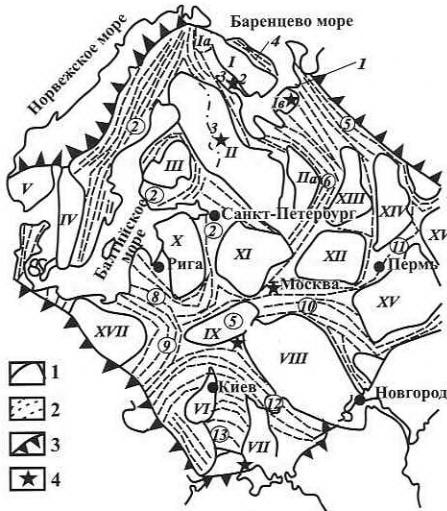


Рис. 1.2. Размещение месторождений алмазов на Восточно-Европейской платформе:

1 - Архейские кратоны: Ia - Инарийский, I - Кольский, Iв - Кулойский, II - Карельский, II а - Шенкурский, III - Западно-Финский, IV - Западно-Шведский, V - Южно-Норвежский, VI - Подольский, VII - Днепровский, VIII - Курский, IX - Белорусский, X - Прибалтийский, XI - Новгородский, XII - Горьковский, XIII - Оксский, XIV - Башкирский, XV - Жигулевский, XVI - Предуральский, XVII - Польский.

2-Позднеархейские-раннемезойские мобильные пояса: 1 - Конеберг-Бемский, 2 - Свекофенский, 3 - Беломорский, 4 - Мурманский, 5 - Тиманский, 6 - Суходольский, 7 - Вологодский, 8 - Рижский, 9 - Минский, 10 - Рязанско-Саратовский, 11 - Казанский, 12 - Днепрово-Донецкий, 13 - Центрально - Украинский.

3 - Границы Фенно-Самарского щита, 4 - кимберлиты и родственные им породы: 1 - Зимний Берег, 2 - Терский Берег, 3 - Коста-мукша (лампроиты), 4 - Приазовье, Украина, 5 - Жлобинское поле, Белоруссия.

В периферийных частях кратонов вещественный состав алмазоносных пород отличается от типичных кимберлитов. Например, в Австралии они представлены лампроитами — ультракалиевыми высокотитанистыми породами, содержащими К-рихтерит, клинопироксен, лейцит. В районе Зимнего Берега породы с промышленными концентрациями алмаза, наоборот, принадлежат к высокоултраосновным образованиям с низким содержанием Al, Fe, K, Ti, F и некоторых других базальтоидных компонентов. Они нередко пространственно тесно ассоциируют с другими платформенными магматитами — пикритами, мелилитами, карбонатитами и пр. Индикаторные минералы присутствуют, как правило, в небольшом количестве; среди них наиболее распространены хромшпинелид и пироп; гораздо реже встречается пикроильменит.

#### Типизация коренных месторождений алмазов

Кимберлитовые тела, в том числе промышленно алмазоносные, различаются между собой по следующим параметрам:

- расположение в различной геотектонической обстановке,
- образование в широком возрастном интервале,
- различная степень эродированности,
- отличие по минералого-петрохимическим особенностям.

Индивидуальные особенности четко проявляются у кимберлитов, расположенных в различных провинциях, районах, полях, а иногда даже в ряду расположенных трубках.

Из выше изложенного следует, что алмазоносные магматиты мантийного происхождения разделены на кимберлиты и лампроиты.

В настоящем разделе приведено более дробное их деление: среди кимберлитов выделены магнезиальные и железисто-магнезиальные разности, а также обособлена кимберлит-лампроитовая группа; дается более подробная характеристика наиболее важных в поисковом отношении признаков: морфологии тел, их размеров, уровня эрозионного среза, возраста, внутреннего строения, петрографических особенностей и др.

**Морфология кимберлитовых и лампроитовых тел** на земной поверхности зависит от целого ряда факторов: масштабов эрозионного среза; текстурно-структурных, литологических типов вмещающих пород, степени их трещиноватости и др. Среди кимберлитовых тел выделяются три основные группы: **трубообразные тела; дайки и жилы; силлы и пластообразные тела**.

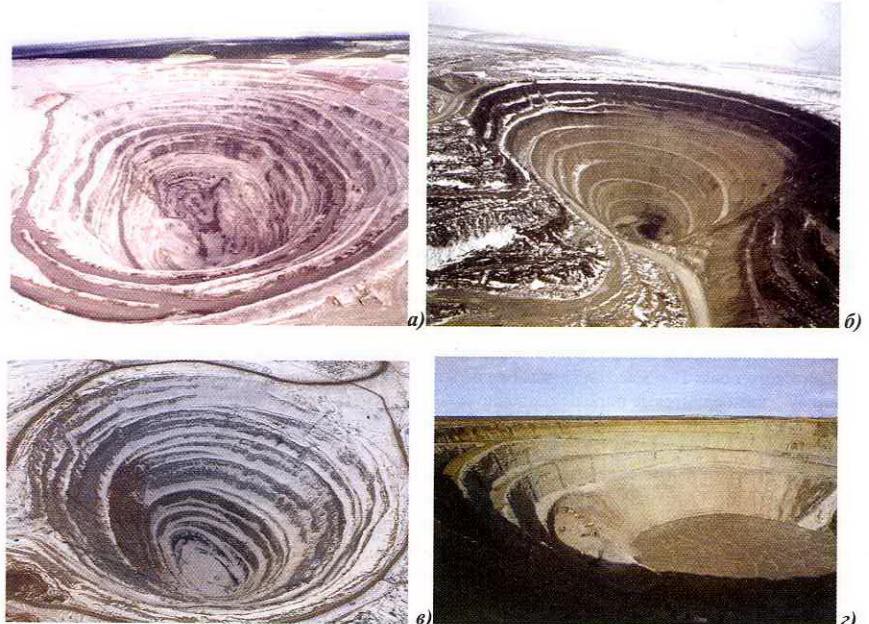


Рис. 1.3. а) Трубка Юбилейная, б) Трубка Сытыканская, в) Трубка Мир, г) Трубка Интернациональная

**1. Трубообразные тела** (трубы взрыва, диатремы), с которыми связаны практически все разрабатываемые коренные месторождения алмазов, образуют на поверхности субизометрические выходы, диаметром от первых десятков метров до километра и более. Выделяются до десятка типов форм сечения трубок: округлые, овальные (эллипсоидальные), грушевидные, дайкообразные (линзовидные), сопряженные (гантелеобразные), неправильно изометричные, неправильно удлиненные и др. Объемная форма у всех типичных трубок коническая, с вершиной, обращенной вниз.

На рис. 1.4 показана форма поперечных сечений наиболее известных кимберлитовых трубок Далдыно-Алакитского района Вилюйской алмазоносной области.

Подавляющее большинство слабо эродированных трубок имеет изометрическую форму. Исключением являются трубы, относящиеся к многокорневым телам - в этом случае в пределах ослабленной зоны (зона разломов) внедрилось несколько порций кимберлитового расплава, которые в верхней части соединяются между собой, а на разных уровнях от поверхности они распадаются на самостоятельные подводящие каналы (фактически отдельные трубы). Прослеживание кимберлитовых трубок на глубину показало, что если на современной поверхности трубы овальной формы имеют хотя бы слабо выраженные следы «перекима», то на глубине они разъединяются, формируя самостоятельные тела. Ярким примером подобной модели служит трубка Орапа.

Фактически все дайкообразные трубы представляют собой сочленяющиеся самостоятельные тела. Так, трубка Айхал на глубине первых сотен метров распадается на три самостоятельных «столба», разделенные перемычками вмещающих пород. Эти тела соединены тонкими проводниками (рис. 1.5).

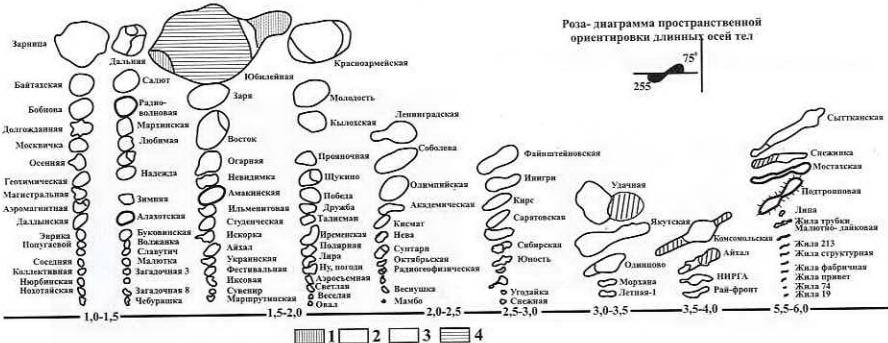


Рис. 1.4. Особенности морфологии и ориентировки длинных осей кимберлитовых тел Далдино-Алакитского поля: 1 — массивные кимберлиты; 2 — эруптивные брекчи; 3 — туфы и туфобрекчи; 4 — кимберлитовые породы осадочно-вулканического происхождения; d/m — отношение длиной оси трубки к короткой.

Все три трубки имеют высокую алмазоносность. Вне всякого сомнения, трубка Кама-фука-Камазамбо (Ангола) также образована несколькими самостоятельными "столбами" с индивидуальными подводящими каналами. По-видимому, крупнейшее коренное месторождение алмазов — трубка Премьер (ЮАР) также на глубине распадается на два тела. Есть основание предполагать, что шовной зоной этих тел служит гигантский мегаксенолит, залегающий посередине овала трубки.

Как известно, в последние годы в ряде пунктов Канады открыты многочисленные кимберлитовые трубки. Наибольший интерес представляют кимберлитовые тела, обнаруженные в пределах Северо-Западных территорий в районе озера Лак де Гра и западнее этого озера. По предварительным оценкам, 4 или 5 трубок этого региона имеют промышленные концентрации алмазов (максимальные содержания достигают 4-5 кар/т). На многих из вновь найденных трубок в самых их верхних частях располагаются озера ледникового происхождения. Большинство исследователей склонно считать, что формирование этих озер именно над кимберлитовыми трубками связано с "выпахиванием" движавшимся ледником углублений над менее прочными кимберлитами, по сравнению с вмещающими породами, представленными кристаллическими сланцами архея. Со временем эти углубления заполнились водой, образуя озера, дно которых покрыто осадками обычного тонкозернистого материала.

Морфология подводящего канала и диатремовой части кимберлитовых трубок в значительной степени зависит от механических свойств вмещающих пород. Африканские геологи изучили корневую и диатремовую зоны кимберлитовой системы, локализованные в жесткой раме кристаллических пород архея, изверженных пород базальтового состава, системы Карру и литифицированных осадочных пород (песчаниках, сланцах и др.).

Зона перехода диатремовой части в корневую и более глубокие горизонты корневой зоны имеет исключительно сложную морфологию. Эти части кимберлитовой постройки характеризуются пережимами и расширениями, изменениями направлений каналов, неровностями, нависающими карнизами, зонами брекчий и пр.

Морфология диатрем, а также раструбных частей кимберлитовой системы в значительной степени зависит от прочности вмещающих пород, их крепости и литологии. Так, например, в Архангельской области, где вмещающие породы представлены слабо литифицированными песчаниками, морфология диатремовой части и кратера в поперечном сечении обычно изометрична, близкая к округлой.

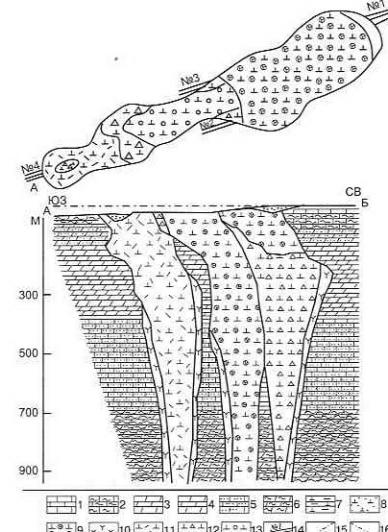


Рис. 1.5. Геолого-структурный план и разрез трубы Айхал:

1 - 6 - вмещающие породы: 1 - известняки лландоверийского яруса мейкской свиты, 2 - мергели и глинистые известняки кылахской свиты, 3 - доломиты и песчанистые известняки со-холмской свиты, 4 - доломиты, глинистые доломиты и доломитистые известняки одон-динской свиты, 5 - терригенно-карбонатные породы мархинской свиты, 6 - глинисто-карбонатные породы мархинской свиты; 7 - стратифицированные породы осадочно-вулканического происхождения; 8 - линзы переотложенных галечников; 9 - кимберлитовые туфы и туфобрекчи; 10 - порфировые кимберлиты интрузивной стадии формирования (первая фаза); 11 - 13 - кимберлитовые брекчи эксплозионной стадии внедрения: 11 - мелкообломочные юго-западного тела (вторая фаза), 12 - туфзитовые восточной части северо-восточного тела (третья фаза), 13 - автолитовые центральной части трубки (четвертая фаза); 14 - кимберлитовые дайки; 15 - предполагаемая граница между кимберлитовыми породами разных фаз внедрения; 16 - палеоповерхность трубки после высвобождения из-под траппов.

Форма поперечных сечений трубок, залегающих в изверженных породах и кристаллических сланцах фундамента, зависит от степени трещиноватости этих пород. Если их трещиноватость ориентирована в одном направлении, то предпочтительно формируется система взаимоориентированных даек (например, в Лесото). В местах пересечения систем различно ориентированных трещин могут формироваться трубчатые тела (Летсент-ля-Терае, Као в Лесото, многочисленные трубки в гранитоидном основании Танзании).

Форма и размер кратера в слабоэродированных трубках определяется главным образом механическими свойствами вмещающих пород в местах перехода диатремовой части трубки в кратерную. Если в зоне перехода залегают рыхлые (слаболитифицированные) осадочные толщи, то основание кратера занимает значительную площадь, как, например, массивы в Зaire, лампроитовые трубки в Австралии.

## 2. Жилы и дайки подразделяются на 3 группы:

- самостоятельные жилы и дайки, непосредственно не связанные с образованием трубок взрыва;
- жилы и небольшие дайки, формирующиеся одновременно с заполнением трубок взрыва;
- жилы кимберлита в телах трубок. Все жильные тела обладают, как правило, небольшой мощностью (от 0,01 до 5,0м) и протяженностью до первых километров.

**3. Силлы и пластовые залежи** известны в некоторых районах Африки, Сибири и Архангельской области. Силлы кимберлитовых пород имеют среднюю мощность 0,9-1,2м, площадь до 5 км<sup>2</sup>. Пластовые залежи кимберлита имеют этажное строение, мощность отдельных пластов 0,6-1,2м, по простирианию они прослежены на несколько десятков метров (плато Ирамбо). В среднем течении р. Мела (Архангельская область) на площади около 1 кв.км кимберлиты образуют группу до 3-7 согласных силлов, горизонтально залегающих в пестроцветных аргиллитах и алевритах венда.

В.И. Ваганов [14], выделяет штокверковый тип кимберлитовых тел, представляющий собой систему многочисленных, различно ориентированных быстро выклинивающихся даек и жил кимберлитов переменной мощности - от линзовидных тел (раздувов даек) до тонкой (шириною до нескольких миллиметров) сетки ветвящихся прожилков. Содержание кимберлитового вещества на участках развития штокверков достигает 30-40%. Штокверковый тип пока обнаружен только в Лесной Гвинее (Африка).

В последние годы новый морфологический тип кимберлитовых тел выделен в Канаде, провинция Саскачеван. Здесь обнаружены типичные маары кимберлитов, в том числе слабо алмазоносных. При разбуривании магнитных аномалий выявлено большое количество кимберлитовых кратеров типа мааров до 1,5км в диаметре, возраст которых изменяется от верхнеальбского до нижнесеноманского (рис. 1.6). Кимберлиты состоят из первичных пирокластических пепловых отложений, мощностью до 4,5м и переработанных морем пирокластических осадков. Данные отложения являются пепловыми и эрозионными продуктами кимберлитовых мааров и, возможно, могут представлять собой экономически значимые па-леороссыпи алмазов[14].



Рис. 1.6. Схематический региональный разрез от центра провинции Саскачеван на север

#### Эрозионный срез

Коренные месторождения алмазов имеют различный эрозионный срез: от минимального, когда около кратера трубы сохранился закратерный выброс (трубка Мвадуи, Танзания) до значительного, когда на земную поверхность выведены низы диатремовой части или даже подводящие каналы (трубы Шенгли и Бинхай, Китай). Среди известных месторождений преобладают среднеэродированные трубы с сохранившимся различным по величине отрезком диатремовой зоны - наиболее продуктивной части кимберлитовой и лампроитовой постройки. Среди промышленно алмазоносных трубок Сибирской алмазоносной провинции установлены:

- слабо эродированные тела с сохранившимися в верхних горизонтах кратерными фа-циами озерного происхождения (трубы Юбилейная, Краснопресненская);
- с частично эродированными кратерами (трубка Айхал);
- с практически полностью эродированными кратерами (трубы Интернациональная, Мир, Зарница, Удачная, Заполярная, Новинка и др.).

Среди продуктивных трубок наиболее интенсивно эродированы тела Верхнемунского района, затем следуют трубы Малоботубинского района и менее всего эродированы трубы Алакит-Мархинского поля, причем масштабы эрозии кимберлитов Далдынского поля значительно больше, чем Алакит-Мархинского.

Промышленные трубы Архангельской области эродированы незначительно. У них сохранился кратер, выполненный осадочно-вулканогенными фациями, верхние горизонты которых образовались в озерных бассейнах.

Масштабы эрозионного среза алмазоносных кимберлитов Африканского континента варьируют от минимального (сохранился закратерный выброс) до значительного (уничтожена большая часть кимберлитовой постройки). Территория Южной Африки разграничена на две части: юго-западную, где кимберлитовые трубы имеют значительный эрозионный срез, и северо-восточную - трубы слабо эродированы.

Кратерные части диатрем с осадочно-вулканогенным заполнением установлены на трубах Мвадуи (Танзания), Камафука-Камазамбо, Катока, Камачия, Каматуэ (Ангола), Орапа, Джваненг (Ботсвана). Степень эрозии кимберлитов, расположенных в пределах Капваальского кратона (группа месторождений г. Кимберли), по данным южноафриканских геологов, определяется более чем 1000м. Еще более мощный эрозионный срез установлен для протерозойской трубы Примьер (около 2км).

Сильно эродированы промышленно алмазоносные трубы кимберлитов Китая. По их морфологии можно заключить, что на земную поверхность выведены самые нижние части диатрем, которые на глубине первых сотен метров переходят в подводящие каналы (дайки).

Индийская трубка Маджаван, судя по морфологии тела, характеризуется средней степенью эрозии. В настоящее время в эксплуатации находится диатремовая часть с почти вертикальными контактами.

Таким образом, эрозионный срез кимберлитовых трубок определяется прежде всего историей развития территории их локализации. Естественно, что более древние трубы (протерозойского возраста) эродированы более интенсивно, чем относительно молодые, тем не менее прямой связи между возрастом трубы и масштабами ее эрозии нет. Так, например, молодые (~90 млн. лет) Трубы Капваальского кратона эродированы более чем на 1000м, в то время как трубка Мвадуи, возраст которой определяется в 189,3 млн. лет, фактически не подверглась эрозии.

#### Размеры месторождений

Размеры промышленно-алмазоносных трубок варьируют в исключительно широких пределах: от десятых долей га (трубы Спутник, им. XXIII съезда КПСС) до 150га (трубка Мвадуи), хотя, по мнению многих исследователей, только крупные трубы могут представлять экономический интерес. Действительно, повышенное содержание алмазов чаще всего имеют относительно крупные трубы, хотя, например, трубка Интернациональная, диаметром менее 100м, характеризуется, пожалуй, наиболее высоким содержанием алмазов среди известных промышленных месторождений мира.

Установлено, что размер трубок во многом зависит от механических свойств вмещающих пород. Так, при внедрении кимберлитовой магмы в слабо литифицированные песчаники, алевролиты Зимнебережного поля, образуются относительно крупные тела (4-10га). Мелкие трубы встречаются редко.

#### Возраст месторождений

Промышленные трубы кимберлитов сформировались в широком возрастном интервале: от протерозоя (трубка Примьер, 1750±100 млн. лет) до мезозоя (трубы района г. Кимберли, ~ 90 млн. лет). Кимберлитовые трубы Венеция и Ривер Ранч, по данным радиологических определений, имеют возраст 550 млн. лет (табл. 1.2).

Несмотря на неоднозначность возрастных оценок и их интерпретации, очевидно, что процессы формирования кимберлитов и лампроитов реализовывались с той или иной периодичностью на протяжении практически всей геологической истории развития Земли. При этом следует отметить[14], что практически все известные на территории России коренные месторождения алмазов имеют среднепалеозойский возраст.

Табл.1.2. Возраст промышленно алмазоносных магматитов

Трубка	Страна, район (поле)	Геологический возраст	Радиологический возраст, млн. лет	Материал, по кот. опред. возраст	Метод	Литературный источник
Кимберлиты						
Премьер	ЮАР	Докемб-рийский	1750+100	Свинец в кимберлите	Pb-Pb	Доусон, 1983
Венеция	-"		550	Циркон	$^{236}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
Ривер Ранч	Зимбабве		550	-"-	$^{236}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
Таежная	Якутия, Мало-Ботуобинский район	Поздне силурий-ский	402,8	-"-	-"-	Девис и др., 1980
Мир	-"	Поздне девонский	361,5	-"-	-"-	-"-
Интернациональная	-"	-"-	360	-"-	-"-	-"-
Юбилейная	Якутия, Далдыно-Алакитский район	-"-	358,1	-"-	-"-	-"-
Сытыканская	-"	-"-	348,1	-"-	-"-	-"-
Спутник	Мало-Ботуобинский	-"-	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Брахфогель, 1984
Дачная	-"	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Айхал	Далдыно-Алакитский	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Краснопресненская	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Комсомольская	-"	Средне палеозой-ский	-"-	-"-	-"-	-"-
Удачная	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Зарница	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Дальняя	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Заполярная	Якутия, Верхне-мунский	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Новинка	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Комсомольская-Магнитная	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Поисковая	-".	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Зимняя	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Архангельская	Архангельская обл., Зимнебережный район	Девон-карбон	-"-	-"-	-"-	Саблуков, 1987
Ломоносовская	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-

Трубка	Страна, район (поле)	Геологический возраст	Радиологический возраст, млн. лет	Материал, по кот. опред. возраст	Метод	Литературный источник
Карпинского-1	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Карпинского-2	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Поморская	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Пионерская	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Шенгли	Китай	Средне Палеозой-ский	-"-	-"-	-"-	-"-
Бинхай	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Мвадуи	Юго-Восточная Африка	Постдо-кем-брейский	189,3	Циркон	U-Pb	-"-
Финн	ЮАР	Послеюр-ский	130-170	Кимберлит	Rb-Sr	Доусон, 1983
Весселтон	ЮАР, Кимberли	-"-	90,3	Циркон	U-Pb	-"-
Дютойтспент	-"-	-"-	-"-	Слюда включения	Rb-Sr	-"-
Дебирс	-"-	-"-	93	Циркон	U-Pb	-"-
Булфонтейн	-"-	-"-	91,1	-"-	-"-	-"-
Кимберли	-"-	-"-	95,4	-"-	-"-	-"-
Ягерсфон-тейн	ЮАР	-"-	Нет данных	Нет данных	-"-	-"-
Коффифон-тейн	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Орапа	Ботсвана	-"-	91,3	Циркон	U-Pb	-"-
Летлакхане	-"-	-"-	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Доусон, 1983
Джвангент	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Бакванга	Конго	-"-	71,3	Циркон	U-Pb	-"-
Камафука-Камазамбо	Ангола	-"-	Нет данных	Нет данных	-"-	-"-
Катока	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Камачия	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Каматуз	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-	-"-
Кимберлит-лампроиты						
Маджаван	Индия	Докем-брейский	1067±31	Флогопит		Доусон, 1983
Лампроиты						
Аргайл	Австралия	Докем-брейский				Джейке и др., 1989
Элландейл-4	-"-	Миоценовый	18			-"-
Элландейл-9	-"-	-"-	-"-			

## Внутреннее строение месторождений

Внутреннее строение алмазоносных кимберлитовых трубок обычно сложное; особенно это относится к крупным диатремам. Трубки небольшого размера (им. XXIII съезда КПСС) выполнены, как правило, одной фазой внедрения кимберлитового материала. В то же время большинство диатрем сложено несколькими фазами внедрения. Многофазность трубок отражается на их конфигурации. Так, например, кимберлитовые трубы Далдыно-Алакитского района чаще всего имеют двух- или трехфазное строение, причем в первую фазу сформировалось дайкоподобное тело, которое затем осложнено внедрением примерно в центральной части новой разновидности кимберлитов (трубы Юбилейная, Комсомольская). Среди кимберлитовых тел Верхнемунского поля выделяют сложные трубы, выполненные породой трех и более фаз внедрения, причем более поздние фазы внедрились на концах дайкового тела (Заполярная, Новинка), придав кимберлитовому телу гантелеподобную форму. Трубы Зимнебережного района, как правило, сложены двумя типами породы: кимберлитовым туфом и автолитовой брекчии. Кимберлитовые туфы приурочены, обычно, к верхней части диатрема, а автолитовые брекчии к более глубоким частям.

По данным африканских геологов, особо сложное строение имеют большинство трубок ЮАР и других стран. Здесь в каждой трубке выделяют 4-6 типов кимберлитов. Однако, скорее всего, не все из этих типов образованы самостоятельными фазами внедрения. Некоторые из них представлены разновидностями, отличающимися друг от друга по цвету, содержанию ксеногенного материала, степени измененности породы и пр.

Оригинальное строение имеет кратерная часть диатремы Мвадуи (рис. 1.7). В осадки кратера внедрилась более поздняя фаза кимберлитов и частично перекрыла их, что свидетельствует о растянутости (десятка или даже сотни млн. лет) процесса магматической деятельности кимберлитового очага (завершающая стадия проявилась после частичного заполнения кратера озерными осадками).

Следует подчеркнуть, что выделение самостоятельных фаз внедрения кимберлитов и отличие их от различного рода внутритрубочных неоднородностей, которыми так богаты эти породы каждой фазы, - задача чрезвычайно сложная. Ввиду сильной переработки кимберлитов постмагматическими растворами, в результате пропитывания породы по всему объему трубы состоялось как бы усреднение состава кимберлитов и уничтожение контактов между фазами. В ряде случаев кимберлиты различных фаз внедрения соединяются через зону смещения мощностью в несколько метров.

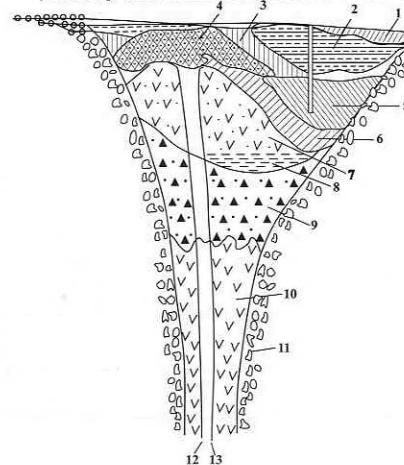


Рис. 1.7. Геологический разрез кимберлитовой трубы Мвадуи (по M.Tremblay, 1956):

1 – алмазоносные конгломераты четвертичного возраста; 2 – терригенно-туфогенные осадки озерного типа (глины, мергели, мелкозернистый туф); 3 – желтые переходные туфы; 4 – туфогенные образования верхнего горизонта; 5 – серые сплошные туфогенные осадки с прослойками зеленых туфов; 6 – переходные серо-зеленые туфы; 7 – переотложенные породы зеленого цвета (агломераты, кимберлит-гранитные брекчии); 8 – переотложенные породы, подстилающие кратерные осадочно-вулканогенные отложения; 9 – жерловая брекчия; 10 – первичный кимберлит; 11 – брекчия Мак-Кьюна; 12, 13 – кимберлиты заключительных фаз внедрения

Осложняют внутреннее строение трубок и внутритрубочные дайки кимберлитов, которые отмечаются практически во всех диатремах.

Установлено два типа даек: не выходящие за пределы трубы и прорывающие кимберлит и вмещающие породы экзоконтактовой зоны. Последние сформировались на заключительном этапе жизни кимберлитового очага.

## Петрографические особенности

Кимберлитовые породы представляют собой сложную гетерогенную систему, состоящую из мантийного и корового вещества в различных пропорциях. Мантийный материал представлен ассоциацией глубинных минералов и ксенолитов пород мантии, а также расплавленной частью мантийного вещества, которая образует мезостазис. Коровая компонента состоит из ксенозерен и ксенолитов вмещающих пород, а также переотложенного из них растворенного материала.

Африканские геологи делят кимберлиты на две группы [7]:

1. Первая группа имеет слабо щелочной состав, содержит мало титана и некогерентных элементов.

2. Вторая группа характеризуется повышенными содержаниями калия, титана, редких земель. Обычно это слюдистые породы, содержащие мелкие зерна клинопироксена и К-рихтерита в составе мезостазиса.

По заключению исследователей южноафриканских кимберлитов, количество тел кимберлитов II группы в Африке повышенено. В Якутии и Зимнебережном районе кимберлиты II группы пока не установлены.

Широкие вариации минерального состава присущи кимберлитам Сибирской и Южноафриканской провинций, в то время как алмазоносные кимберлиты Зимнебережного района имеют более простой состав.

Лампроиты отличаются от кимберлитов повышенным содержанием титанистого флогопита, калийсодержащего рильтерита, мельчайших выделений клинопироксена (диопсида), а также таких редких минералов, как вэйтит, прайдерит и некоторых других. В мезостазисе лампроитов в повышенных количествах присутствуют апатит, хромшпинелид, в более основных разностях встречаен лейцит.

Между кимберлитами и лампроитами существует постепенный переход через промежуточные разности алмазоносных пород - кимберлит-лампроиты.

Из промышленно-алмазоносных объектов кимберлит-лампроиты выделены нами в трубке Маджаван (Центральная Индия). От типичных кимберлитов порода названной трубы отличается повышенным содержанием титана, калия, фосфора, причем источником титана служит высокотитанистый флогопит и анатаз, фосфор сконцентрирован в мельчайших зернышках апатита, а калий - во флогопите.

От классических алмазоносных лампроитов порода трубы Маджаван отличается пониженным содержанием калия и отсутствием редких типоморфных минералов - прайдерита, калиевого рильтерита и некоторых других [69].

## Геолого-вещественная характеристика кимберлитов

Кимберлит - гибридная эфузивная или субвулканическая порода ультраосновного со щелочным уклоном состава, порфировой или порфировидной структуры, брекчевой или туфовой текстуры, сложенная глубинным (мантийным) и коровым материалом в различных пропорциях. Мантийный материал представлен ксенолитами ультраосновных, щелочно-ультраосновных и основных пород и ксенозернами их минералов: алмазом, гранатом-пиропом, пикроильменитом, хромшпинелидом, оливином, клино- и ортопироксеном, флогопитом, редко цирконом, апатитом, титанклинопирокситом. Переисчисленные минералы устойчивы в широком диапазоне РТ-условий: от области стабильной кристаллизации алмаза до области метастабильного состояния пиропа. Расплавленный мантийный материал раскристаллизован в условиях земной коры в виде мезо-стазиса, в состав которого входят оливин второй генерации (оливин II), хромшпинелид II, ильменит II, флогопит II, монтичеллит, клинопироксен II, рутил, перовскит, мелилит, кальцит. Коровой составляющей кимберли-

тов являются ксеногенный материал пород, вмещающих кимберлиты и материал, перенесенный в кимберлиты из окружающей среды постмагматическими растворами.

Существует множество классификационных схем кимберлитовых пород, в основу которых положены структурно-текстурные особенности, минеральный состав основной массы (мезостазиса), содержание и размеры обломков ксеногенного материала и др. Не вдаваясь в анализ существующих классификаций, отметим, что далее при описании пород будет акцентировано внимание лишь на тех типах кимберлитовых образований, реальное существование которых не вызывает сомнения.

#### *Структурно-текстурные особенности и вещественный состав кимберлитов*

Исследователи кимберлитов выделяют следующие части (зоны) трубчатых, или диатремовых структур:

а) **кратерная зона** - растреск, или воронкообразное расширение, венчающееся у неэропированных аппаратов кольцевым валом;

б) **диатремовая зона** - вертикальный канал;

в) **корневая зона** - подводящий канал в виде одного или нескольких дайковых тел.

Каждая из названных зон кимберлитовой постройки характеризуется особой морфологией, текстурно-структурными особенностями и вещественным составом, механизмом формирования как самих отрезков диатремы, так и выполняющих их пород. В связи с этим каждую из трех зон кимберлитовой постройки следует рассматривать как самостоятельный геологический объект. Все это, вместе взятое, создает своеобразную вертикальную зональность коренных месторождений алмазов.

**Корневые зоны** кимберлитов Якутии до настоящего времени изучены слабо. В эксплуатирующихся трубках Мир, Интернациональная, Удачная и других карьерами вскрыты диатремовые части. Несмотря на полную отработку кимберлитовой трубы им. ХХIII съезда КПСС, ее корневая зона осталась практически не изученной. При разведке глубоких горизонтов трубок Мир, Удачная, Интернациональная, Юбилейная настоящую корневую зону удалось вскрыть буровыми скважинами только на глубоких горизонтах трубы Мир, в остальных трубах на наибольших глубинах их пересечения (1000-1400м) буровыми скважинами были выявлены продолжения вертикального канала (диатремовая часть). К сожалению, число пересечений корневой зоны трубы Мир оказалось недостаточным для выяснения деталей ее морфологии, а слагающие глубокие горизонты породы изучены слабо. По этой причине изложение особенностей корневых зон в настоящем разделе основывается главным образом на материалах, опубликованных по кимберлитовым трубкам Южной Африки (район Кимберли). Как известно, эксплуатирующиеся уже более 120 лет кимберлитовые трубы Южной Африки - Де Бирс, Весселтон, Дюйтойтспен, Булл-фонтейн в настоящее время вскрыты подземными горными выработками - шахтами, штреками, камерными выемками - на глубину 800-1000м, где названные трубы представлены подводящими дайками, раздувами, слепыми ответвлениями. Отработка данных горизонтов трубок сплошной выемкой алмазоносного кимберлита позволила африканским геологам изучить в деталях морфологию корневой зоны и особенности пород, слагающих ее [70].

Установлено, что корневые зоны кимберлитовых трубок характеризуются изменчивостью морфологии, расширениями и сужениями тела, резким изменением наклона и простирации контактов, их неровностями (угловатые выступы блоков) и расщеплением подводящих тел на отдельные дайкоподобные проводники, появлением на глубине слепых тел кимберлитов. Нередко контакты кимберлитов падают в сторону вмещающих пород под углом около 30°, поэтому последние как бы нависают над кимберлитами, формируя своеобразные карнизы шириной до 30м. Подобное взаимоотношение корневых зон трубок с вмещающими породами обусловлено в значительной мере механическими свойствами и другими особенностями последних, а также механизмом подъема кимберлитового расплава. Корневые зоны кимберлитовых трубок в Южной Африке находятся в окружении кристаллических пород фундамента архейского кратона, что существенно влияет на их морфологию.

гические особенности. Ориентировка подводящих каналов и частично их форма определяются трещиноватостью жесткой рамы, откалыванием от нее отдельных угловатых блоков.

Характерной чертой корневых зон, иллюстрируемой наглядными примерами в трубках Де Бирс и Весселтон, является наличие четко выраженных участков, сложенных контактовыми брекчиями [70].

Установлено три основных типа брекчий, различающихся между собой по составу, строению и генезису: а) эксплозивные; б) флюидные; в) интрузивные.

**Тела эксплозивных брекчий** корневых зон трубок Де Бирс и Весселтон имеют ширину до 30м и примерно такую же протяженность по вертикали. Отличительная особенность этих брекчий - угловатость обломков слагающих их вмещающих пород. Брекчии распологаются нередко под нависающими карнизами монолитных разностей последних. Наблюдаются постепенный переход от сильно брекчированных участков на контакте с кимберлитами, сложенных угловатыми обломками небольших размеров (обычно менее 10см), до ненарушенных пород, окружающих кимберлиты. Эти брекчии образовались "in situ" без какого либо перемещения брекчированных масс. В них встречаются пустоты размером до 10см в поперечнике, которые частично выполнены гидротермальным кварцем, кальцитом, пиритом. В составе описываемых брекчий кимберлитовый материал, как правило, отсутствует. В некоторых случаях более поздние внедрения кимберлита могут пропитывать отдельные участки эксплозивных брекчий.

**Флюидные брекчии** по местоположению, взаимоотношению с кимберлитами и составу похожи на эксплозивные, однако, в отличие от последних, сложены средне и хорошо окатанными обломками, напоминающими гальку, и имеют вид вулканических конгломератов. Флюидные брекчии встречаются реже и занимают значительно меньший объем по сравнению с эксплозивными. Редким типом являются брекчии с отчетливо выраженной полосчатостью, обусловленной чередованием полос с различной размерностью обломочного материала, ориентировка которых изменяется от почти вертикальной до наклонной под углом до 30°.

**Интрузивные брекчии** формируются обычно в результате энергичного внедрения кимберлитового расплава в трещиноватые зоны приконтактовых пород. Это приводит к дроблению последних, отчленению отдельных обломков и цементации их кимберлитом. Нередко эти брекчии напоминают штокверковые тела. Интрузивные брекчии, так же как и флюидные, значительно менее распространены по сравнению с эксплозивными. Максимальные размеры их тел - до 30м.

Корневые зоны характеризуются сложным внутренним строением. Обычно здесь присутствуют породы нескольких самостоятельных крупных интрузий и множество мелких даек. Наличие в составе интрузий обломков кимберлитов, отличающихся по текстурно-структурным особенностям и вещественному составу от пород всех вскрытых тел, свидетельствует, что количество поступлений кимберлитового расплава в корневую систему было значительно больше установленного на горизонтах, вскрытых горными выработками. Часть из них могла быть разрушена при внедрении более поздних интрузий кимберлитов. В трубке Де Бирс и некоторых других изучены контакты между разными интрузиями корневых зон. Чаще всего они постепенные, через так называемую зону смешения, ширина которой равняется нескольким метрам. Однако нередко контакты резкие, имеющие вид сварного шва. На контактах отмечаются зеркала скольжения или узкие (0,5-2,0см) зоны волокнистого кальцита или серпентина.

По данным африканских геологов, изучение неконтаминированных свежих кимберлитов показывает исключительно высокую концентрацию летучих в кимберлитовом расплаве. Об этом свидетельствует широкое распространение сегрегационных текстур, возникающих при отделении летучих от магмы в момент ее кристаллизации. Сегрегационные обособления обычно сложены разными комбинациями карбоната, серпентина, апатита. В некоторых случаях магма была настолько обогащена летучими, что в кимберлитах формировались

глобулы (автолиты); их ядрами были ксено- или фенокристы, вокруг которых и кристаллизовалась первичная силикатная основная масса.

Кроме описанных сегрегаций, в корневых зонах наблюдаются скопления (своебразные сегрегации) относительно крупных мегакристов пиропа, пикроильменита и ксенолитов глубинных пород. Подобные скопления неоднократно отмечались в корневой зоне трубы Мир.

В табл. 1.3 приведен перечень основных характеристик кимберлитовых пород корневой зоны.

Таблица 1.3. Основные характеристики кимберлитовых пород корневой зоны

Признаки	Неизмененный и умеренно измененный кимберлит	Измененный кимберлит
Минеральный состав	Флогопитовый Флогопит-монтчеллитовый Монтчеллитовый Клинопироксеновый Мелилитовый Оlivин-флогопитовый Оlivин-монтчеллитовый Оlivин-клинопироксеновый	Серпентиновый Серпентин-кальцитовый Кальцитовый Сапонитовый Серпентин-сапонитовый Серпентин-хлоритовый Тальк-серпентиновый
Текстура	Массивная	флюидальная, брекчевая
Структура	Порфировая (мелко-, средне- и крупнопорфировая)	Порфировая, реликтовая порфировая (мелко-, средне- и крупно- порфировая)
Тип породы	Лава (кимберлит); Эксплозивная брекчия.	Измененная лава (кимберлит); эксплозивная брекчия, флюидная брекчия, интрузивная брекчия
Форма залегания	Брекчия, интрузивная брекчия	штокоподобные тела, линзы
	Дайки, силлы	

**Диатремовые зоны** кимберлитовых систем изучены детально в большинстве эксплуатирующихся коренных месторождений. Они имеют форму усеченного перевернутого конуса с изометрическим или овальным сечением в плане. Ось конуса практически всегда вертикальная, контакты с вмещающими породами резкие, в большинстве случаев гладкие, сопровождаются зеркалами скольжения с вертикальной штриховкой. В приконтактовой зоне осадочные слои нередко задраны вверх, иногда опущены. В редких случаях контакты между кимберлитами диатремовой фации и вмещающими породами постепенные, через брекчевую зону мощностью до 30м и вертикальной протяженностью до 100м, которая имеет неоднородный состав. Со стороны кимберлита она представлена обломками вмещающих пород, сцементированными кимберлитом. Далее по мере приближения к вмещающим породам в ней возрастает количество обломков последних и уменьшается доля кимберлитового цемента, до полного его исчезновения. Непосредственный переход к вмещающим породам фиксируется ксенобрекчийей, в которой обломки этих пород сцементированы в основном кальцитом. Ксенобрекчия постепенно сменяется трещиноватыми породами окружающей рамы.

Характерная особенность кимберлитов диатремовой фации - концентрация значительной части ксенолитов вмещающих пород на уровне их первичного залегания. Особенно это четко фиксируется на трубках Интернациональная, Мир, Айхал и др. Так, обломки траппов в трубке Мир сосредоточены в основном на двух уровнях: на глубинах 500-550 и 1000 - 1150 м, т.е. там, где пластовые интрузии траппов прорываются кимберлитовой магмой. Особенно наглядным примером может служить как бы продолжение слоев вмещающих пород непосредственно в сами кимберлитовые трубы на участках, где ими прорваны пестроцветные мергели ордовика. Соответственно меняется цвет кимберлитов трубок Мир и Айхал при пересечении ими этих мергелей: становится коричневым или бурым на уровне бурых мергелей и зеленым - на уровне зеленых.

Внутреннее строение диатремовых фаций кимберлитов более простое, чем корневых. В диатремах выделяется значительно меньшее число самостоятельных фаз внедрения (однократные). Контакты между кимберлитами различных фаз внедрения бывают двух типов: а) резкие; б) постепенные через зону смешения. Диатремовые зоны в основном выполнены туфизитовыми кимберлитовыми брекчиями, цементом которых служит микрозернистая (нередко микролитовая) матрица, которая представлена минералами, образовавшимися из газовой фазы, газовых конденсатов или из гидротермальных флюидов. Последующие вторичные изменения маскируют те признаки, по которым можно было бы реставрировать первичный состав и механизм формирования как матрицы, так и туфизитовой брекчии в целом.

Несмотря на разнообразие источников макрокомпонентов в кимберлитовых брекчиях, большая часть этих пород имеет относительно однородное строение. Тем не менее местами в них проявляются четко выраженные неоднородности, обусловленные дифференциацией материала по размеру. Удлиненные оси обломков пород и кристаллов минералов ориентированы в определенном направлении, перемежаются полосы мелко- и более крупнозернистого материала. Эти полосы обычно протягиваются вертикально или субвертикально, но часто наблюдаются неправильные «завитки» и вихревые текстуры.

Для диатремовых зон характерно наличие "плавающих рифов", или мегаксенолитов. Эти крупные массы вмещающих пород (некоторые из них имеют размеры 100м и более) встречаются в двух формах. Большинство представлено сплошными массами с небольшим внутренним разрушением или без него. Часть же мегаксенолитов интенсивно брекчирована, представлена плотно "упакованными" обломками без кимберлитового цемента и напоминает контактовые брекчии корневых зон. "Плавающие рифы" обычно располагаются по периферии кимберлитовых диатрем. Некоторые из них опустились более чем на 1000м ниже своего первоначального уровня. Несмотря на значительное перемещение, многие брекчии "плавающих рифов" сохраняют общую целостность в виде обособленных тел в туфизитовой кимберлитовой брекчии, однако нередко отмечается внедрение кимберлитового материала в "плавающие рифы", а краевые зоны последних насыщены или разрушены кимберлитовыми брекчиями.

Интересной разновидностью кимберлитовых пород, уникальной по сохранности оливина, являются массивные кимберлиты и эруптивные брекчии, вскрытые на глубоких горизонтах трубок Мир и Удачная. Эта разновидность характеризуется наличием огромного количества практически не затронутого серпентинизацией и другими вторичными процессами оливина двух групп, отличающихся между собой по размеру и морфологии. Структура породы порфировая, обусловленная вкрапленниками оливина обеих групп: оливин I представлен зернами размером 1,0-2,5мм, удлиненно овальной и изометрически-неправильной формы, нередко - с реликтами кристаллографической огранки, а оливин II - идиоморфными или удлиненно-овальными, реже неправильной формы зернами размером менее 0,5мм. Основная масса несерпентинизированных кимберлитов трубки Удачная имеет существенно кальцитовый состав с примесью шортита и небольшого количества земкорита.

В описываемых несерпентинизированных кимберлитах довольно часто встречаются автолиты и обломки кимберлитов более ранней генерации, также содержащие большое количество неизмененного оливина.

Повышенное количество натрийсодержащего карбоната - шортита в основной массе несерпентинизированного кимберлита трубок Мир и Удачная, безусловно, связано с особым составом вмещающих пород на уровне залегания блока "свежего" кимберлита. В районе трубки Мир, во вмещающих породах, присутствуют мощные пласти каменной соли, а в районе трубки Удачная встречаются ее маломощные линзы и прожилки. Источником натрия в шортите является галит. Данные изотопного состава углерода карбонатного вещества неизмененных кимберлитов трубки Удачная свидетельствуют о вторичном происхождении кальцита этих пород. Шортит и земкорит - также низкотемпературные вторичные минералы. Источником основных компонентов перечисленных минералов служат вмещаю-

шие породы галогенно-карбонатного состава. Блок слабо измененного кимберлита трубки Удачная рассекают многочисленные прожилки гипса и кальцита. Именно в этой породе был обнаружен новый минерал - карбонат натрия, утвержденный комиссией по новым минералам под названием земкорит.

На глубоких горизонтах трубки Мир и ряда других тел, на небольших участках развит атакситовый кимберлит - песчаникоподобная порода нередко слоистой текстуры. По виду она напоминает осадочно-вулканогенные образования, встреченные в верхних горизонтах трубки Юбилейная и некоторых других. Это порода зеленовато-серого цвета, иногда пятнистой окраски (чередуются участки светло- и темно-серого цвета), сложенная обломками и целыми псевдоморфозами серпентина (иногда с примесью кальцита) по оливину (60-70%), единичными обломками осадочных пород, пластинчатыми и пакетообразными кристаллами хлоритизированного флогопита, редкими оскольчатыми зернами пиропа и пикроильменита. Обломочный материал четко ограничен по размеру 0,5-3мм, более крупные обломки встречаются редко. Цементом являются серпентин-карбонатные агрегаты. Таким образом, атакситовые разности кимберлитов представляют собой отсортированную обломочную породу, сложенную в основном кимберлитовым материалом, в то время как в осадочно-вулканогенных образованиях кратерной фации, отождествляемых некоторыми исследователями с атакситовыми кимберлитами, преобладает дезинтегрированный материал вмещающих пород, а количество кимберлитового материала в них мало.

Перечень основных характеристик кимберлитовых брекчий диатремовой зоны приведен в табл. 1.4.

Кратерные зоны кимберлитовых трубок хорошо изучены в Танзании, Замбии, Ботсване, Анголе, Зaire, Мали, Бразилии, некоторых районах Южной Африки, Якутии и Архангельской области [7, 67, 69 и др.]. В поперечном сечении кратеры обычно округлые, овальные, вытянутые (содержащие несколько кратеров). Контакты их относительно пологопадающие.

Высокая степень брекчированности пород является обычным признаком краев кратерной зоны. Частично или полностью сохранившиеся "воротники" брекчированных вмещающих пород, окружающих кратеры, отмечены около трубки Мваду в Танзании. Их ширина здесь достигает 50м. Детально эти брекчики не изучены, но установлено присутствие в их составе кимберлитового материала. Кратерные фации кимберлитов представлены двумя генетическими типами: пиро- и эпикластическим. Последние образовались за счет эрозии и последующего переотложения пирокластического материала, выброшенного за пределы кратера, а также за счет размыва участков породы внутри кратера.

Кроме того, в их составе присутствует дезинтегрированный материал вмещающих пород. Эти породы чаще всего образуют чашеподобные тела в верхней части растрела с максимальной мощностью в неэродированных трубках до 200-250м в центре "чаши". К флангам мощность пород уменьшается.

В пределах "чаши" пелитоморфные образования переслаиваются с песчанисто- и гравелитоподобными прослойками, мощностью от нескольких миллиметров до первых десятков сантиметров. Размер терригенно-обломочного материала с глубиной возрастает, в связи с чем среди эпикластических пород "чаши" выделяются два горизонта. В неэродированных или слабоэродированных трубках верхний горизонт представлен стратифицированными породами с преобладанием разностей, сложенных пелитовой составляющей. Глубже залегают стратифицированные породы, напоминающие песчаники и гравелиты, мощностью до 120-150м. Здесь же нередко встречаются линзы переотложенного материала, существенно кимберлитового состава, мелкообломочного сложения. Эта толща сменяется пирокластической зоной, в которой преобладают обломки кимберлитов, псевдоморфозы по оливину, сцепментированные гидрохимическим веществом. Состав кратерных образований во многом определяется составом вмещающих пород. Установлено, что основными составными компонентами пород "чаши" является дезинтегрированный материал вмещающих пород и в меньшем объеме - кимберлитов.

Количество терригенной составляющей в кратерах трубок возрастает к верхним частям. В самом верхнем горизонте количество кимберлитового материала снижается до минимального, а в ряде случаев он отсутствует вовсе. В связи с этим минерало-химический состав осадочно-вулканогенных пород нередко закономерно изменяется от верхних зон "чаши" до ее основания.

Главной составной частью осадочно-вулканогенных образований кратеров кимберлитовых трубок Якутии является карбонатный компонент (содержание  $\text{CaO} + \text{CO}_2$  достигает 76%), Восточно-Европейской платформы - кварцевый материал (содержание  $\text{SiO}_2$  нередко превышает 90%). Состав кратерных пород кимберлитов Африки также тесным образом связан с составом прорванных трубкой вмещающих пород, залегающих на уровне кратера.

Таблица 1.4. Основные характеристики кимберлитовых пород диатремовой зоны

Признаки	Верхняя часть диатремы	Средняя и нижняя части диатремы
Минеральный состав	Карбонат-серпентиновый Серпентин-карбонатный Сапонитовый Серпентин-сапонитовый Флогопит (хлорит)-серпентиновый	Карбонат-серпентиновый Серпентин-карбонатный Сапонитовый Серпентин-сапонитовый Флогопит-монтанеллитовый Монтанеллитовый Мелилитовый Клинопироксеновый
Состав обломочного материала	Терригенно-карбонатные (известняки, доломиты, песчанистые известняки, мергели, алевролиты); терригенные (аргиллиты, алевролиты, песчаники); изверженные породы (базальты, диабазы, гранитоиды, гранитогнейсы, нориты и др.); кимберлиты	То же, что в верхней части диатремы плюс породы мантии (перидотиты, пироксениты, эклогиты, сподиты и др.).
Текстура	Брекчия, редко слоистая	Брекчия, участками флюидальная и вихревая
Структура	Литокристаллокластическая, кристаллолитокластическая, литокластическая; структура цемента микромелко- и среднезернистая.	Литокристаллокластическая, кристаллолитокластическая; структура цементирующего кимберлита - автолитовая, ластопорфированная, порфировая.
Форма залегания	На верхних горизонтах чаше- и грибовидная; линзо- и столбообразные тела.	Столбообразные тела.

В трубке Мваду (Танзания), расположенной среди гранитоидов, он представлен каолинизированными обломками последних ( $\text{SiO}_2$  достигает 54%), в трубке Камафука-Камазамбо (Ангола) - дезинтегрированными фрагментами кристаллических сланцев фундамента ( $\text{SiO}_2$  от 64 до 87%); в трубке Орапа (Ботсвана), прорвавшей долериты Стромберга, основной объем составляют измененные обломки последних ( $\text{SiO}_2$  30-32%). В связи с возрастанием с глубиной количества кимберлитового материала в породе увеличивается концентрация  $\text{MgO}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Эпикластические породы кратера, как отмечалось, постепенно переходят в пирокластические кимберлитовые брекчи и туфобрекчи. Они нередко разделяются так называемым "ксенолитовым поясом" - крупноглыбовой зоной, сложенной глыбами (до 2-10м в поперечнике) и мелкими обломками вмещающих пород, промежутки между которыми выполнены перетертым материалом тех же ксенолитов и измененными обломками кимберлитов. Наиболее крупные глыбы располагаются ближе к контактам трубки.

Пирокластические туфы и туфобрекчии, как правило, выполняют среднюю и нижнюю части кратера. Они постепенно сменяются кимберлитовыми брекчиями диатремовой фации. Количество обломочного материала вмещающих пород в туфах постепенно снижается с глубиной, в этом же направлении возрастает содержание обломков кимберлитов и их минералов. Как и в эпикластических породах, здесь состав обломков определяется главным образом составом прорванных пород. Цемент туфов имеет гидрохимическую природу. В туфах и туфобрекчиях якутских кимберлитов он представлен серпентином и карбонатом, в восточноевропейских - сапонитом, тальком и серпентином, в африканских - тальком, серпентином, сапонитом и карбонатом. В туфовых разностях кимберлитов возрастает (по сравнению с осадочно-вулканогенными породами) содержание индикаторных минералов и количество их цельных зерен. На химический состав туфов также значительное влияние оказывают вмещающие породы.

Кимберлитовые брекчии *раструба* являются, как правило, наиболее продуктивными образованиями кимберлитовой постройки и служат главным объектом отработки коренных месторождений и добычи алмазов. Структура брекчий - литокристаллокластическая и кристаллолитокластическая. По составу обломков различаются гетеро- и автолитовые брекчии, а по размеру - крупно-, средне- и мелкообломочные. Цемент брекчий имеет следующие структуры: а) массивную порфировую; б) кластопорфировую; в) автолитовую; г) литокристаллическую. Текстура для породы в целом брекчиявая, а для магматического цемента - нередко флюидальная: субпараллельно ориентированы удлиненные кристаллы оливина II генерации (псевдоморфозы по нему), пластинки и чешуйчатые выделения флогопита и лейсты кальцита. Обломочный материал брекчий состоит из ксенолитов прорванных вмещающих и вынесенных с глубины пород. Ксенолитами являются: а) мантийные образования (перидотиты, пироксениты и эклогиты); б) метаморфические породы (сланцы и гнейсы) кристаллического фундамента; в) изверженные породы (диабазы, базальты, гранитоиды, габбро, нориты, фельзиты и др.); д) осадочные породы (терригенно-карбонатные и терригенно-кварцевые). Содержание обломочного материала варьирует от первых процентов до 90% и более, а размеры обломков - от нескольких миллиметров до гигантских.

Значительный объем эруптивных бречий приходится на дезинтегрированный мантийный материал: оливин, гранат-пироп, пикроильменит, хромшипинелид, хромдиопсид и некоторые другие ксенозерна минералов, слагающих породы верхней мантии. Основной составной частью кимберлитовых брекчий является расплавленное на глубине вещество верхней мантии. Именно оно служит транспортером ксеногенного мантийного материала вверх и в условиях земной поверхности застывает, формируя весьма сложный по набору и разнообразию минеральных фаз кимберлитовый мезостазис. Соотношение обломочного мантийного материала и мезостазиса широко варьирует в разных трубках и даже разных фазах одной трубки и зависит, по-видимому, от степени проплавления исходного дифференцированного субстрата. Например, известны кимберлитовые трубы и дайки, порода которых практически лишена непроплавленных фрагментов мантийного материала (ксенолитов и ксенокристаллов), сложена порфировыми фенокристаллами оливина или псевдоморфозами по нему и мелкопорфировым мезостазисом; характерная ее особенность - исчезающее низкое содержание минералов-спутников и, как правило, низкая алмазоносность (первый тип кимберлитовых брекчий, по Е.В. Францессон). Кимберлитовым породам подобного типа можно противопоставить образования, в составе которых резко преобладает дезинтегрированный материал (ксенокристы), в то время как количество раскристаллизованного расплава в них невелико.

По текстурно-структурным особенностям эруптивные кимберлитовые брекчии принято делить на две группы: с массивной и автолитовой текстурой цемента. В петрологическом смысле эти две группы кимберлитовых брекчий отличаются механизмом формирования, нередко составом и алмазоносностью. Последняя, как правило, выше в брекчиях с автолитовой текстурой цемента.

Главной составной частью кимберлитовых брекчий с массивной текстурой цемента являются ксенозерна оливина (псевдоморфозы по нему), размером от первых до десятков миллиметров в поперечнике. Форма их разнообразна: изометрически-округлая с ровными или коррелированными краями, угловато-обломочная. Они в разной степени замещены агрегатами вторичных минералов, представленных серпентином, кальцитом и тальком. Содержание этих ксенозерен колеблется от первых процентов до 40%. Оливин имеет магнезиальный состав ( $f=6-10\%$ ). Цементом ксенозерен оливина и другого обломочного материала служит порода порфировой структуры с варьирующим содержанием оливина II, флогопита II, хромшипинелла II, пикроильменита II, монтчеллита, мелилита, клинопироксена II, пегматита, анатаза и некоторых других минералов.

Среди автолитовых брекчий выделяются несколько разновидностей, основные отличия между которыми заключаются в строении и составе автолитовых образований. Наиболее широко распространены брекчии, переполненные мелкими (0,5-1,5мм) автолитами, представляющими собой порфировидные зерна оливина, а также обломки мантийных или коровьих пород, окруженные тонкой пленкой или более широкой зоной (сплошной или прерывистой) мелкопорфирового кимберлита. Эти образования можно назвать зачаточными автолитами. Цементом автолитов служит мелкопорфировый кимберлит сложного минерального состава. Он не имеет существенных отличий от основной массы кимберлитовых брекчий с массивной текстурой цемента. Нередко автолиты cementированы серпентин-карбонатным или серпентин-сапонитовым агрегатом.

Реже встречаются брекчии, сложенные большим (10-50% по объему) количеством автолитов в виде хорошо обособленных шаро- или эллипсовидных скоплений. Цемент автолитов представлен порфировым кимберлитом или карбонат-серпентиновым агрегатом. Автолиты иногда дифференцированы по размеру.

Характерные особенности большинства автолитов, отличающие их от обломков кимберлитов более ранних фаз внедрения - концентрически-ориентированная текстура, большое количество (по сравнению с цементирующей массой) оливина II, имеющего и более идиоморфный облик, также флогопита II и рудных минералов (перовскит и магнетит). Химический состав собственно автолитов в большинстве случаев отличается от химического состава замещающего их кимберлита, повышенным содержанием  $FeO$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$  и пониженным  $SiO_2$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ . В якутских кимберлитах автолиты нередко содержат повышенное количество карбонатного материала.

В табл. 1.5 приведен перечень основных характеристик кратерных образований.

Таблица 1.5. Основные характеристики кимберлитовых пород кратерной зоны

Признаки	Эпикластические породы	Пирокластические породы
Минеральный состав	Карбонатный Серпентин-карбонатный Серпентиновый Сапонитовый Кварц-сапонитовый Полевошпат-кварцевый Полевошпат-кварц-сапонитовый	Карбонатный Серпентин-карбонатный Серпентиновый Сапонитовый Серпентин-сапонитовый Тальк-сапонитовый

Признаки	Эпикластические породы	Пирокластические породы
Состав обломочного материала	Терригенно-карбонатные (известняки, мергели, доломиты, песчанистые известняки, аргиллиты); Терригенно-кварцевые (аргиллиты, алевролиты, песчаники); Извещенные породы (долериты, диабазы, гранитоиды, гранитогнейсы, пориты и др.)	Кимберлиты (лапиллы); терригенно-карбонатные (известняки, мергели, доломиты, песчанистые известняки, аргиллиты); терригенно-кварцевые (аргиллиты, алевролиты, песчаники); изверженные породы (долериты, диабазы, гранитоиды, гранитогнейсы, пориты и др.)
Текстура	Слоистая, узловатая, вихревая	Брекчевая, слоистая, полосчатая, узловатая•вихревая
Структура	Крипто-, тонко-, мелко-, среднезернистая; мелко-, средне-, крупнообломочная	Кристаллокластическая, литокристаллокластическая, кристаллолитокластическая; мелко-, средне-, крупно-обломочная; тонко-•мелко- средне-•крупнозернистая.
Форма залегания	Слои, линзы	Линзы, слабо стратифицированные пачки
Тип породы	Аргиллиты, алевролиты, песчаники, гравелито- и конгломератоподобные породы	Туфы, туфобрекчии, пепловый туф, туфопесчаник, туфоалевролит, крупно- и мелко-глыбовые брекчии

### 1.1.2. Минеральный состав кимберлитов и вещественно-индикационные модели кимберлитов

#### 1.1.2.1. Минеральный состав кимберлитов

Важными составными компонентами кимберлитов, которые принято называть индикаторными минералами (ранее широко использовался термин минералы-спутники), является ассоциация глубинных минералов, включающая алмаз, гранат-пироп, пикроильменит, хромшпинелид, оливин, хромдиопсид, циркон, апатит, титанклинопиромагнетит (три последние встречаются редко) и некоторые другие; источником их, по мнению большинства исследователей, служат дезинтегрированные породы верхней мантии.

Наиболее распространенные минералы-спутники алмаза - пироп и пикроильменит. По соотношению их, различают кимберлитовые породы с преобладанием пиропа над пикроильменитом и с обратными пропорциями этих минералов, как, например, в большинстве кимберлитовых тел Якутии и Южной Африки. По суммарному содержанию пиропа и пикроильменита (%) кимберлиты разделены на шесть групп: I группа > 2; II - от 1 до 2; III - от 0,5 до 1; IV - от 0,1 до 0,5; V - от 0,01 до 0,1; VI - от редких знаков до 0,01. Содержание минералов-индикаторов и их состав наиболее детально изучены для кимберлитов Якутии и Архангельской области. Информации об этих минералах в африканских кимберлитах относительно мало (обычно приводятся сведения только об их содержании в тяжелой фракции породы).

В пределах Сибирской алмазоносной провинции выделяются две области: центральная - Вилюйская и северная - Анабаро-Оленекская, кимберлиты которых, наряду с другими признаками, различаются по содержанию и составу индикаторных минералов[68].

В кимберлитах Вилюйской области отмечается повышенное содержание минералов-спутников алмаза: пиропа, пикроильменита и хромшпинелида. По приведенной выше классификации А.Д. Харькова, преобладают породы II и III групп, хотя довольно часто встречаются кимберлиты IV и V групп. Содержание пиропа повышено по отношению к другим индикаторным минералам; повышена также доля высокохромистых разновидностей пиропа

и хромшпинелида, особенно в алмазоносных трубках. В этих трубках в переменных количествах присутствует кимберлит, содержащий пироп, концентрации которого положительно коррелируются с алмазоносностью кимберлитов; встречаются гранаты верлитового парагенезиса (зеленого цвета). По данным Н.П. Похilenко и др. [66], для кимберлитовых трубок указанной области характерны наиболее широкие вариации содержаний  $Cr_2O_3$  и  $CaO$  в гранатах (0,1-19,1% и 0,3-26,9% соответственно), максимальная величина дисперсий средних содержаний этих оксидов (2,1-2,4 и 1,1-1,4% соответственно). Для гранатов типична максимальная степень дифференцированности по парагенезисам, особенно в наиболее высокоалмазоносных трубках. Среди пикроильменитов преобладают разности с умеренным содержанием  $MgO$  (6-9%) и относительно низким количеством трехвалентного железа. В некоторых трубках отмечается повышенное содержание хромдиопсида.

Кимберлитам Анабаро-Оленекской области в основном свойственно низкое содержание минералов-спутников алмаза, хотя есть трубки с их повышенным количеством (Обнаженная, Русловая). В подавляющем большинстве случаев пикроильменит преобладает над пиропом. Высокохромистых разновидностей пиропа и хромита значительно меньше, чем в кимберлитах Вилюйской области, а эти минералы алмазной ассоциации исключительно редки. Практически не встречены гранаты верлитового парагенезиса. В общем, характерно меньшее разнообразие составов граната. По данным Н.В. Соболева, Н.П. Похilenко [66] и др., гранаты из кимберлитов Анабаро-Оленекской области практически полностью относятся к перцолитовому и вебстеритовому парагенезисам, среди которых повышено количество низкохромистых разновидностей. Клинопироксен, как правило, представлен низкохромистой разновидностью с повышенным содержанием глиноzemистой; ортопироксен также принадлежит к глиноzemистой разновидности. В породах повышено содержание вкрашенников флогопита, обогащенного титаном.

По содержанию и составу индикаторных минералов среди кимберлитовых пород Архангельской провинции выделяются две группы: 1) с исключительно низким содержанием индикаторных минералов, особенно пиропа и пикроильменита (VI группа), и несколько повышенным количеством хромшпинелида; 2) с относительно повышенным содержанием пикроильменита и пиропа. В 1995г. среди кимберлитовых тел Верхотинской группы обнаружены классические алмазоносные кимберлиты (трубка им. Гриба), содержащие в повышенном количестве весь набор индикаторных минералов и много свежего оливина. Отличительными особенностями индикаторных минералов продуктивных кимберлитов I группы (месторождение им. Ломоносова) являются: а) преобладание среди пиропов высокохромистых разностей перцолитового парагенезиса и повышенное содержание зерен гарпбургит-дунитового парагенезиса; б) повышенное содержание высокохромистых хромшпинелидов, в том числе алмазной ассоциации; в) преобладание среди хромшпинелидов разностей с повышенным содержанием  $TiO_2$  и  $Fe_2O_3$ , образующихся в условиях высокого потенциала кислорода.

В концентрациях большинства кимберлитов Южной Африки отмечается повышенное содержание пикроильменита и пиропа, количество хромшпинелида, как правило, низкое. В некоторых трубках и дайках часто встречаются желваки и мелкие зерна клино-, ортопироксена, повышенное количество "свежего" оливина. Пикроильменит обычно преобладает над пиропом. Пироп по составу менее дифференцирован, чем в алмазоносных кимберлитах Якутии. Редки случаи находок пиропов верлитового парагенезиса (за исключением трубок Ньюленд и Као), относительно редки пиропы гарпбургит-дунитового парагенезиса и алмазной ассоциации.

При выделении минералогических разновидностей кимберлитов особую роль должны играть вторичные минералы (их содержание и состав). Пожалуй, трудно назвать другую магматическую породу, которая была бы столь интенсивно изменена вторичными процессами, как кимберлиты. Основной объем (90-98%) подавляющего большинства трубок, даек и силлов составляют вторичные минералы, главные из которых - серпентин, кальцит, сапонит, тальк и некоторые другие. В кимберлитах описаны более 50 различных минеральных

видов и разновидностей вторичного происхождения. В зависимости от содержания и состава вторичных минералов меняется ряд физических свойств кимберлитов: механическая прочность, плотность, магнитные, электрические, сейсмические и некоторые другие свойства, т.е. те характеристики, которые играют главенствующую роль при использовании геофизических и ряда геологических методов поисков, а также при отработке месторождений.

Распределение и видовой состав вторичных минералов зависят прежде всего от состава и механических свойств вмещающих пород, степени и характера минерализации вод, захороненных в последних. Эти воды, проникая в кимберлиты при внедрении магмы в земную кору, действуют как гидротермальные растворы и служат источником многих компонентов гидротермальной минерализации. Неравномерное распределение вторичных минералов кимберлитов обусловлено также наличием в отдельных участках трубок (прежде всего в приконтактовых зонах) повышенного количества ксенолитов различных по составу вмещающих пород.

### 1.1.2.2. Вещественно-индикационные модели кимберлитов

В результате изучения кимберлитов, залегающих в различных осадочных и изверженных породах, доказано, что на их вещественный состав сильное влияние оказывает вмещающая среда. В зависимости от состава и механических свойств последних, а также объемов и степени минерализации находящихся в них захороненных подземных вод изменяется химический состав кимберлитов, определяются их физические свойства и особенности вторичной минерализации.

По характеру проявлений экзогенных факторов нами выделено три типа вещественно-индикационных моделей алмазоносных вулканитов [64].

*Первый тип* - вмещающие породы сложены карбонатно-терригенными осадочными комплексами. Кимберлитовые породы в них подвержены сильной карбонатизации ксеногенной и инфильтрационной природы. Основные породообразующие минералы таких пород - серпентин и кальцит. Данный тип кимберлитов (рис. 1.8) четко проявлен на Сибирской платформе.

В зависимости от минерализации захороненных вод, в пределах этого типа можно выделить два подтипа: первый развит в условиях, когда во вмещающих породах содержатся высокоминерализованные воды типа рассолов, а второй - когда воды слабо минерализованы. Первый подтип кимберлитов распространен в центральной части Сибирской платформы (Малоботубинский, Среднемархинский, Далдыно-Алакитский и Верхнемунский районы).

Для него характерна обильная и разнообразная гидротермальная минерализация: бруцит, амакинит, пироаурит, барит, целестин, стронцианит, кальцит, серпентин, пирит, гипс, галлит, сепиолит, таumasит, хантит, екатеринит, ферросайсбеллит, шортит, земкорит и др. [49]. Источником большинства составных компонентов перечисленных выше минералов служат вмещающие породы. Второй подтип охватывает все кимберлитовые районы и поля северной части платформы. Главные вторичные минералы во втором подтипе те же, что и первом - серпентин и кальцит; отличительные признаки заключаются в менее интенсивном развитии гидротермальной минерализации и значительно меньшем количестве минеральных фаз.

*Второй тип* (рис. 1.9) объединяет кимберлиты, вмещающие толщи которых сложены слабо литифицированными глинисто-кварцевыми алевролитами и песчаниками. Захороненные в них воды почти пресные. В составе кимберлитов присутствует много дезинтегрированного ксеногенного материала, представленного кварцем и глинистой составляющей.

Кимберлитам присущ ряд специфических особенностей состава, главными из которых являются:

1) высокое содержание  $\text{SiO}_2$  и повышенное  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и некоторых других оксидов, заимствованных из вмещающих пород;

2) низкое содержание карбонатного материала и отсутствие лейстовидных и столбчатых выделений кальцита, которые в кимберлитах других моделей, по мнению ряда исследователей, кристаллизовались из магматического расплава;

3) своеобразное вторичное изменение кимберлитов, выразившееся в развитии сапонитизации вместо традиционной серпентинизации и карбонатизации;

4) слабое проявление гидротермальной минерализации, ограниченное количество минеральных фаз и специфичный их набор.

Модель *третьего типа* - вмещающими служат хорошо литифицированные песчаники, алевролиты, глинистые сланцы или изверженные и метаморфические образования: гранитоиды, нориты, долериты, фельзиты, габбро, кристаллические сланцы и гнейсы. Обводненность вмещающих пород, как правило, понижена. Кимберлиты относительно слабо изменены, присутствует повышенное количество "свежего" оливина, как первой, так и второй генераций, сохранилась слабо измененная хорошо раскристаллизованная основная масса. Этот тип кимберлитов реализован на большей части (рис. 1.10) Африканского континента. Здесь кимберлиты менее всего контаминыированы обломками вмещающих пород, они наиболее близки к исходному составу, хотя и среди африканских кимберлитов нередко наблюдаются породы с повышенным содержанием  $\text{SiO}_2$  за счет ассоциации вмещающих кислых образований. Преобладающими вторичными фазами в кимберлитах данного типа являются серпентин, тальк, сапонит; содержание карбоната в несколько раз ниже, чем в якутских кимберлитах. Специфична гидротермальная минерализация: довольно часто встречаются цеолиты, отмечается афвиллит, пектолит и некоторые другие минералы, характерные только для кимберлитов этого региона.

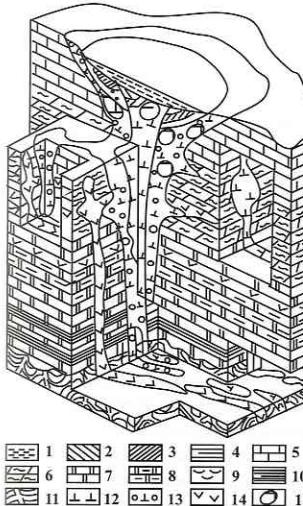


Рис. 1.8. Модель алмазоносной трубы Якутии:  
 1 - перекрывающие осадки пермского - каменно-угольного возрастов;  
 2-4 - осадочно-вулканогенные образования кратерной фации:  
 2 - мергелеподобные,  
 3 - песчаникоподобные,  
 4 - гравелитоподобные;  
 5-10 - вмещающие породы нижнего палеозоя:  
 5 - известняки,  
 6 - мергели,  
 7 - доломиты,  
 8 - доломит-ангидритовые породы,  
 9 - соли,  
 10 - аргиллиты;  
 11 - кристаллические породы фундамента;  
 12 - массивные кимберлиты;  
 13 - эруптивные кимберлитовые брекчи;  
 14 - трапы;  
 15 - ксенолиты вмещающих пород

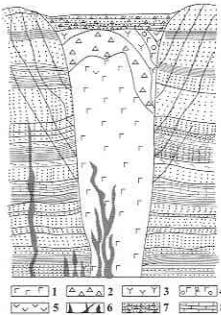


Рис. 1.9. Модель алмазоносной кимберлитовой трубы Зимнего Берега:  
 1 - автолитовая кимберлитовая брекчия;  
 2 - ксенотуберекция;  
 3 - туберекция;  
 4 - туф;  
 5 - туффит;  
 6 - массивный кимберлит;  
 7 - кратерные фации;  
 8 - вмещающие породы вендинского возраста, представленные чередованием песчаников, алевролитов, аргиллитов с прослоями известняков

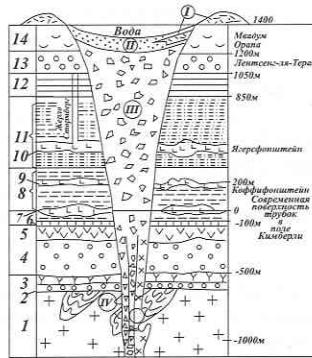


Рис. 1.10. Обобщенная кимберлитовая модель алмазоносной кимберлитовой трубы Африки (по Дж. Хуторному): I-V — породы трубы; I — туфы вулканического конуса и кратера, II — тонко- и грубозернистые осадки кратера, III — агломераты и туфы, IV — интрузивные брекчии, V — интрузивные массивные кимберлиты; 1—14 — вмещающие породы рамы: 1 — древние гранитогнейсы и сланцы, 2—5 — система Винтерсдорп (2 — конгломераты р. Вааль, 3 — кварцевые порфиры, 4 — кварциты, 5 — андезитовые лавы), 6—14 — система Карру (6 — сланцы Двайка, 7, 9, 10 — долериты Карру, 8 — сланцы Экка, 11 — свита Бофорт, 12 — "красные" слои, 13 — "пещерный" песчаник, 14 — сланцы Стормберг)

Как уже подчеркивалось, вещественный состав алмазоносных вулканитов определяется как экзогенными, так и эндогенными факторами. В зависимости от состава пород верхней мантии, производящих кимберлитовую магму, нами выделено три вещественно-индикационные модели алмазоносных кимберлитов [64].

За счет ультраосновных пород верхней мантии образуются кимберлитовые породы существенно магнезиального состава с низкими содержаниями базальтических компонентов (*первая петрохимическая модель*). Примером подобных кимберлитов могут быть породы Восточно-Европейской платформы и некоторых кимберлитовых трубок Якутии (Айхал, Интернациональная, Ботуобинская, Нюрбинская). Ультраосновной тип кимберлитов характеризуется низким содержанием индикаторных минералов кимберлитов (пироп, хромит, ильменит, хромдиопсид), их хромистой ассоциацией и ультраосновным составом ксенолитов глубинных пород. Исходным мантийным веществом данных кимберлитов явились деселитированные породы типа дунитов, гарпбургитов и оливиновых лерцолитов.

В пределах Сибирской и Африканской провинций известен широкий спектр кимберлитовых пород, отличающихся между собой петрографо-минеральными особенностями, тем не менее подавляющее большинство из них характеризуются всеми главными типоморфными признаками кимберлитов (*вторая модель*). По составу глубинных минералов и ксенолитов можно заключить, что исходные породы — источник кимберлитовой магмы этих провинций — были исключительно глубоко дифференцированы.

К *третий модели алмазоносных пород мантийного происхождения* следует отнести породы некоторых диатрем Индии. Ее отличительная особенность — высокотитанистый состав, повышенное содержание фосфора и умеренное калия, почти полное отсутствие мантийных ксенолитов, а также ксенокристаллов мантийных пород: оливина, пиропа, пикроильменита. Наиболее реальный путь образования алмазоносных пород подобных составов — практически полное плавление сильно метасоматизированных образований верхней ман-

тии, содержащей повышенное количество титан- и фосфорсодержащей фаз. Концентратом фосфора мог быть апатит, а титана — ильменит, титанистый флогопит и, возможно, некоторые другие минералы. По пути перемещения магма индийских алмазоносных пород практически не захватывала обломки вышележащих слоев.

Несмотря на различный химический состав, все указанные выше алмазоносные магматиты содержат комплекс глубинных минералов (гранат-пироп, хромшипелид, пикроильменит, хромдиопсид), образующий с алмазом равновесную ассоциацию.

Учитывая зависимость состава мантийных магматитов, в том числе алмазоносных, от состава пород мантии, подвергшихся плавлению, а также сильную дифференцированность пород верхней мантии, есть основания утверждать, что алмазоносными могут быть и вулканические образования, состав которых будет отличаться от перечисленных выше.

Эндогенная (мантийная) группа факторов определяет основные петро- и геохимические особенности кимберлитовых пород, главными из которых являются высокомагнезиальный ультраосновной состав пород и их базальтоидная геохимическая специализация. Иначе говоря, кимберлиты принадлежат к оригинальным природным образованиям, характеризующимся такими уникальными особенностями, как высокое содержание не только MgO и коррелирующих с ним когерентных элементов (Ni, Co, Cr, Mn), но и некогерентных элементов (K, Sc, Cs, Ti, Ba, F, Li, Th), накопление которых в породах не может быть связано с поведением главных компонентов, обусловливающих ультраосновность породы.

Черты ультраосновности кимберлиты приобретают в процессе плавления пород верхней мантии, среди которых преобладают высокомагнезиальные ультрабазиты типа гранатовых дунитов, гарпбургитов, лерцолитов и шпинелевых аналогов. Как показали исследования представительных коллекций ксенолитов глубинных пород многих кимберлитовых тел Якутии, Африканского и других континентов, ультраосновные породы, хотя и являются преобладающими, но тем не менее не единственными составными компонентами верхней мантии. В ней присутствуют также основные (еклогиты), щелочные (слюдистые перидотиты и слюдисто-ильменитовые разности) дифференциаты. Щелочные и щелочно-титанистые образования принадлежат к метасоматическим производным верхней мантии. РТ-условия минерального равновесия пород верхней мантии, представленных в кимберлитах в виде нодулей, показывают, что в целом наиболее глубинные части пород верхней мантии, "опробованные" кимберлитовой магмой, и зона, венчающая мантийную часть литосферы, имеют высокомагнезиальный деплетированный состав, в то время как средняя часть верхней мантии сохранила значительное количество базальтовой составляющей, где концентрируются главным образом ильменит-слюдистые и слюдистые дифференциаты. Флогопит-ильменитовые гипербазиты представляют интерес при обсуждении условий генерации глубинных щелочных ультраосновных магм, в том числе кимберлитовой, поскольку по своим петро- и геохимическим параметрам они в наибольшей степени приближаются к кимберлитам и другим продуктам ультраосновного со щелочным уклоном магматизма. Геохимической особенностью флогопит-ильменитовых гипербазитов является сочетание высоких содержаний сидерофильных элементов, свойственным мантийным перидотитам, с повышенными концентрациями лиофильных редких элементов, во много раз превосходящими содержание последних в гранатовых и шпинелевых перидотитах. Механическое смешение расплавов с реликтами исходных пород и минералов различных участков дифференцированной по вертикали верхней мантии приводит к формированию кимберлитовых магм, которые, переместившиеся в условиях земной коры, образуют трубчатые, дайковые и силлоподобные тела.

Как известно, все промышленные скопления алмазов мантийного генезиса приурочены к трубкам взрыва, редко — дайковым телам, тесно ассоциирующим с трубками. Вряд ли можно ожидать еще какие-то другие морфологические типы тел с промышленной алмазоносностью. Этот вывод базируется на том, что при быстром перемещении мантийного расплава (непременное условие для обеспечения сохранности алмаза в метастабильной для него об-

становке) при встрече в земной коре на глубине от нескольких сотен метров до первых километров (глубины перехода корневой зоны в диатремовую) с захороненными подземными водами могут реализоваться только взрывные трубчатые структуры, выполненные брекчииевидной породой. В случае медленного подъема и затянувшейся кристаллизации поднявшегося в верхние горизонты литосфера алмазоносного магматического расплава, алмаз будет либо превращаться в графит, либо окисляться, частично или полностью уничтожаясь.

### 1.1.3. Характеристика месторождений алмазов лампроитового типа

Лампроит определяется как богатая калием и магнием лампрофировая порода вулканического или гипабиссального происхождения, принадлежащая к классу ультраосновных пород. Основные составляющие минералы представлены оливином, клинопироксеном (обычно диопсидом), флогопитом (обычно титанодержащим), лейцитом, амфиболом (чаще калиевым риахтеритом), ортопироксеном, санидином и стеклом. Аксессорные фазы могут включать прайверит, апатит, нефелин, шпинель, перовскит, вэйдит и ильменит. Возможно присутствие также ксенолитов и ксенокристов (включая оливин, пироксен, гранат и шпинель) верхнемантийного происхождения, а также алмаза в качестве редкого аксессория. Лампроит может иметь основной или ультраосновной состав и характеризуется высоким отношением  $K_2O/Na_2O (>3)$  и большими содержаниями Rb, Sr, Ba, Ti, Zr, Nb, Pb, Th и легких элементов группы редких земель.

Средний химический состав лампроитов приведен в табл. 1.6.

Лампроиты принадлежат к ультракалиевым магнезиальным образованиям орендитовой серии, которая характеризуется присутствием обогащенных титаном силикатов и оксидов и отсутствием мелилита или плагиоклаза. Типичным минералом является магнезиальный оливин. Среди алмазоносных лампроитов Австралии выделяются две разновидности: а) лейцитовые, содержащие менее 10% оливина; б) оливиновые - около 30% оливина при отсутствии лейцита. Между этими разновидностями лампроитов можно найти постепенные переходы; в переходных разновидностях содержится незначительное количество лейцита и около 20% оливина.

Для основной массы пород всей серии характерны диопсид и К-риахтерит. Алмазонность, хотя она и установлена для всей серии лампроитов Западной Австралии, более типична для оливиновых разностей [39].

В.А. Милашев [63] убедительно показал, что лампроиты не отличаются от кимберлитов ни формой тел, ни внутренним строением. Основным породообразующим минералом как кимберлитов, так и лампроитов является магнезиальный оливин. В оливиновых лампроитах присутствуют мантийные ксенолиты, представленные шпинелевыми и гранатовыми лерцолитами, дунитами и гарцбургитами, т.е. теми же глубинными породами, что и в кимберлитах. Можно подобрать серию разновидностей этих магматитов и выстроить их в непрерывный ряд с постепенным изменением их особенностей от кимберлитов до лампроитов. Упомянутый автор предлагает отнести лампроиты к породам группы кимберлитов, выделив среди них слюдистые, К-риахтеритовые и К-риахтерит-лейцитовые кимберлиты. Представляется, что такое объяснение природы лампроитов соответствует действительности, хотя отнесение алмазоносных лампроитов к одной из разновидностей семейства кимберлитов вряд ли оправдано. За этими алмазоносными магматитами, которые в Австралии служат крупными коренными источниками алмазов, прочно закрепился термин "лампроит" и называть эти породы как-то иначе нет необходимости.

Таблица 1.6. Средний химический состав лампроитов (в сравнении с типичными кимберлитами)

Компо-ненты	Лампроиты			Кимберлиты		
	Оливиновые лампроиты Эллендейл (ср. из 27 ан.)	Лейцитовые лампроиты Эллендейл (ср. из 16)	Трубка АК-1	Зап. Австралия (тр. Скоринг)	Средний кимбер. Юж. Африки	Средний кимберлит Якутии
SiO <sub>2</sub>	42,6	49,67	45,0	54,3	31,45	26,62
TiO <sub>2</sub>	3,43	6,15	3,32	2,9	1,97	2,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,96	8,05	4,84	2,2	3,57	3,46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	5,68	3,00	-	-	6,48
FeO	8,43	1,49	4,66	9,53	9,21	2,71
MnO	0,14	0,08	0,12	-	-	0,14
MgO	25,0	9,48	21,20	19,3	26,53	23,13
CaO	5,05	3,33	4,88	1,8	9,83	13,63
BaO	-	1,25	0,09	0,05	-	-
K <sub>2</sub> O	4,45	8,20	5,50	0,15	1,25	0,99
Na <sub>2</sub> O	0,52	0,39	0,46	0,40	0,27	0,11
H <sub>2</sub> O	-	3,04	3,01	-	-	-
CO <sub>2</sub>	-	0,10	0,50	-	5,94	10,33
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,27	1,29	1,58	0,39	0,89	0,65
SO <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-
ppn	5.16	-	-	-	-	-
Сумма	100,03	97,2	98,16	92,02	90,93	90,93

Петрохимическая близость алмазоносных лампроитов Австралии и кимберлитов Якутии демонстрировалась на диаграмме в работе Н.В. Соболева с соавторами (1986). При этом было показано, что по ряду петрохимических признаков алмазоносные лампроиты совпадают с типичными кимберлитами. Оливиновые лампроиты служат промежуточным звеном между лейцитовыми лампроитами и кимберлитами.

В алмазоносных лампроитовых породах, как и в кимберлитах, сочетаются материалы двух уровней кристаллизации - мантийного и корового. Мантийный материал представлен продуктами дезинтеграции пород дифференцированной мантии, которые находятся в виде ксенозерен алмаза, оливина, пиропа, пироп-альмандин, хромшпинелида, хромдиопсида, пикроильменита и ксенолитов мантийных пород (оливинитов, гарцбургитов, лерцолитов). Высокое давление и высокая температура - необходимые условия равновесной кристаллизации большинства компонентов этой группы глубинного материала. На пути перемещения лампроитовой магмы к поверхности в диатремах, а также в дайках кристаллизовался комплекс минералов мезостазиса: оливин (II группы), клинопироксен (обычно диопсид), К-риахтерит, хромшпинелид (II), пикроильменит (II), Ti-флогопит, лейцит и некоторые аксессорные минералы (апатит, прайдерит, вэйдит и др.) в стекловатой матрице.

Из индикаторных минералов, которые используются при поисках шлиховым методом, в лампроитах присутствуют алмаз, хромшпинелид и пироп; пикроильменит и хромдиопсид встречаются в виде редких знаков. В австралийских лампроитах общее содержание индикаторных минералов низкое. Обычно хромшпинелид отмечается в несколько повышенных

количествоах, а пироп и особенно пикроильменит представлены редкими знаками. Правда, известны единичные лампроитовые трубы, в частности, Элландейл-7, в которых пироп в концентрате преобладает над хромшипинелидом [66].

Содержание алмазов в лампроитах колеблется в широких пределах - от практически нулевого до уникального (8кар/т). Среди алмазов лампроитов установлены те же морфологические формы, что и у алмазов кимберлитов.

Как уже отмечалось, алмазоносные лампроиты принадлежат к ультракалиевым породам ( $K_2O=2-6\%$ ), содержащим высокие концентрации  $TiO_2$  (2-5%),  $P_2O_5$  (1,5-4,0%) и некоторых некогерентных элементов (Ba, Sr, Pb, Zr, Th, U и др.), в то время как кимберлиты Восточно-Европейской платформы представлены высокоультраосновными образованиями (если "очистить" их от ксеногенного кварцевого и другого материала вмещающих пород) с низкими содержаниями  $TiO_2$  (0,10-0,80%),  $FeO$  (4-6%),  $K_2O$  (0,20-0,7%),  $P_2O_5$  (0,10-0,50%) и некоторых других компонентов. Это служит убедительным доказательством ксеногенной природы алмазов кимберлитов и лампроитов. Их материнскими породами являются гранатовые перидотиты и эклогиты алмаз-хромпироповой фации глубинности, а магматические расплавы, застывшие в трубчатых структурах в виде лампроитов и кимберлитов, играли роль транспортеров, выносящих этот минерал и другие продукты дезинтеграции мантийных пород в земную кору.

Хромшипинелиды лампроитов представлены двумя группами: первая - ксенокристаллы, аналогичные аксессориям этого минерала из ксенолитов шпинелевых и гранатовых перидотитов, присутствующих в лампроитах и кимберлитах, а вторая - мелкие выделения из основной массы породы (мезостазиса). Последние нередко встречаются в виде включений в лейциите, оливине, флогопите и некоторых других минералах. Хромшипинелиды I группы образуют хорошо индивидуализированные кристаллы и неправильной формы зерна размером до 1мм и более. Хромшипинелиды именно этой группы используются при шлихоминералогическом методе поисков в качестве индикаторного минерала. При сопоставлении состава хромшипинелидов I группы из кимберлитов Якутии и состава различных хромшипинелидов из лампроитов видно, что точки состава хромшипинелидов из лампроитов попадают в поле массового расположения точек состава хромшипинелидов из кимберлитов (рис. 1.11).

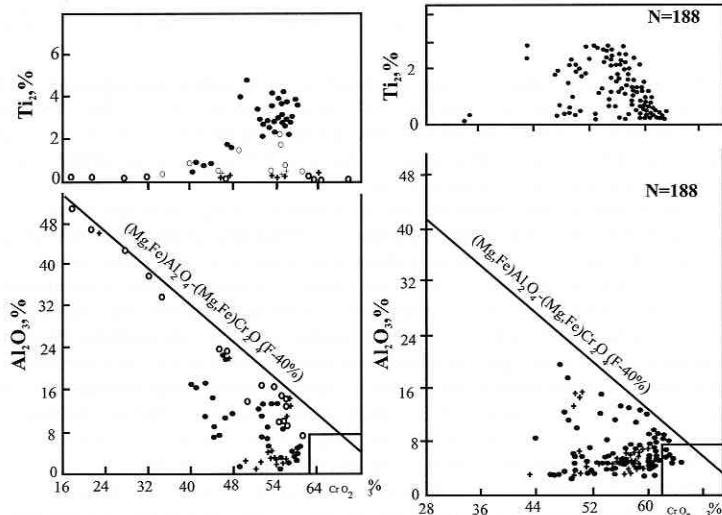


Рис. 1.11. Состав хромшипинелидов из лампроитов Австралии (а) и из кимберлитов трубы Поморская Архангельской области (б) [Соболев Н.В., 1974].

Хромшипинелиды лампроитов характеризуются широким диапазоном состава, особенно по количеству хрома и алюминия: содержание  $Cr_2O_3$  варьирует от 32,03 до 64,4%,  $Al_2O_3$  - от 6,81 до 37,48%. Часть зерен относится к алмазной ассоциации. Относительно редко встречающиеся включения хромшипинелида в алмазах лампроитов принадлежат к особо высокочромистой разности (содержание  $Cr_2O_3$  более 62%).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что хромшипинелиды I группы лампроитов и кимберлитов характеризуются близким составом и, в частности, широкими вариациями содержания  $Cr_2O_3$  и  $Al_2O_3$  [66]. Тем не менее, некоторые исследователи считают, что хромшипинелиды лампроитов имеют особый состав - им свойственны высокие содержания  $TiO_2$  и  $Fe_2O_3$  и этим они отличаются от хромшипинелидов кимберлитов [64].

Гранат (пироп) - важный, но редкий аксессорный минерал лампроитов. Тем не менее, как отмечалось, в некоторых лампроитовых телах он присутствует в повышенных количествах, особенно в концентрате оливиновых лампроитов. Поэтому поисковая роль данного минерала велика. По составу гранаты ультраосновного парагенезиса из лампроитов не отличаются от гранатов кимберлитов. Как видно из рис. 1.12, они характеризуются широкими пределами колебания содержания  $Cr_2O_3$  (до 12%). Нижняя часть рисунка ограничивает область состава пиропов «алмазной» ассоциации. Пиропы слева от диагонали содержат хром только в виде уваровита. Составы, расположенные справа от диагонали, содержат примесь кноррингита.

Единичные включения граната высокочромистого и низкокальциевого состава встречены в алмазах. В то же время среди гранатов лампроитового концентрата распространены в основном низко- и умереннохромистые разновидности этого минерала. Несмотря на преобладание гранатов эклогитового типа во включениях в алмазах трубы Аргайл, в концентрате обогащения зафиксированы лишь отдельные находки пироп-альмандиновых гранатов, а среди пиропов пока не обнаружены особо богатые хромом и бедные кальцием разновидности.

Исключительно редким индикаторным минералом лампроитов является пикроильменит. Судя по нескольким опубликованным химическим анализам состав этого минерала из основной массы лампроитов такой же, как в кимберлитах.

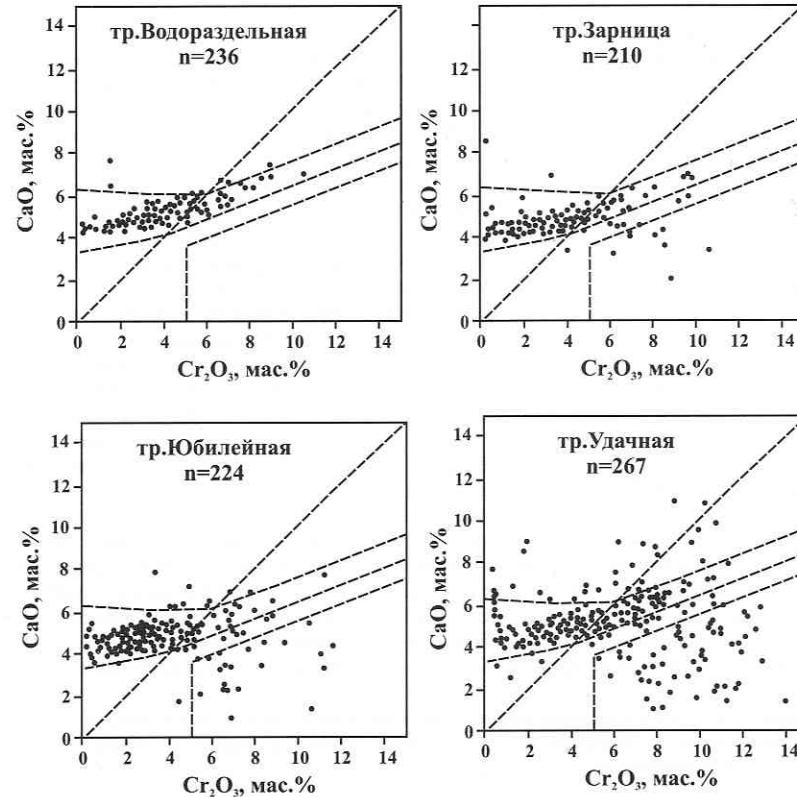


Рис. 1.12. Особенности состава гранатов-пиропов из некоторых кимберлитовых трубок Якутии («Водораздельная» (не содержит алмазов), «Зарница», «Юбилейная» и «Удачная»). Указаны в порядке повышения содержания алмазов: n – количество проанализированных зерен [168].

Мантийные ксенолиты в лампроитах Австралии [71] встречаются редко и обычно сильно изменены вторичными процессами. Размер ксенолитов небольшой – 0,5-2,5 см.

Анализ РТ-условий образования минеральных ассоциаций в кимберлитовых и лампроитовых породах свидетельствует о том, что соотношение разноглубинных минералов (принадлежащих различным фациям) в каждой трубке алмазоносных магматитов индивидуально. Установлено, что как в кимберлитах, так и в лампроитах продукты мантийной и коровой этапов кристаллизации примерно одинаковы, различие заключается лишь в количестве материала этих двух этапов: в кимберлитах преобладает материал глубинного (мантийного) этапа, в лампроитах – корового. Лампроитовый расплав формируется в пределах тех сегментов мантии, где в широких масштабах развиты мезосоматизированные породы.

Исключительно интересное внутреннее строение имеют трубы Австралии. Австралийские геологи почти в каждой трубке выделяют три фазы внедрения: песчанистые туфы, не-песчанистые туфы и гипабиссальные породы.

Эрозионный срез лампроитовых трубок Австралии варьирует от минимального (несколько десятков метров – трубы Элландейл-4 и Элландейл-9) до среднего (трубка Артгайл). У минимально эродированных трубок сохранился широкий раструб. Схематическая модель лампроитовой трубы приведена на рис. 1.13.

Интересно ведет себя гипабиссальная фаза лампроитов: она, как правило, интрутирует породы обеих предшествующих фаз, растекаясь на поверхности диатрем, вследствие чего образуется грибовидная шляпа, покрывающая часть площади, занимаемой песчанистыми и не-песчанистыми туфами.

Алмазоносность гипабиссальных пород обычно намного ниже алмазоносности предшествующих фаз внедрения, а сама порода ввиду особой крепости трудно поддается обогащению. Поэтому грибовидная шляпа сильно затрудняет отработку таких трубок даже в случае повышенного содержания алмазов в двух других фазах лампроитов.

Наиболее ранней фазой являются песчанистые туфы, во вторую фазу образуются не-песчанистые туфы, и завершают процесс гипабиссальные лампроиты.

Породы разных фаз внедрения локализуются в разных местах диатрем: «песчанистые» туфы слагают значительный объем верхней части кратера, «не-песчанистые» туфы занимают более глубокую часть кратера и диатремовую зону.

Известны находки алмазов в импактиках и некоторых других породах, а также в метеоритах, но они не рассматриваются в данном издании, посвященном алмазам, имеющим промышленное значение в настоящее время.

## 1.2. Типы россыпных месторождений алмазов

### 1.2.1. Общие сведения и понятия

**Россыпь** — скопление рыхлого или сцементированного обломочного материала, содержащего в виде зёрен или агрегатов ценные минералы, поступившие в осадки в результате денудации первичных или вторичных источников алмаза. Характерна последовательная смена от источника генетических типов россыпей (элювиальные-делювиальные-пролювиальные-аллювиальные), содержащих алмазы близкого качества (по крупности, морфологии, сортности и др.).

**Россыпное месторождение** — группа пространственно сближенных россыпей или одиночная россыпь и её часть, рентабельная для разработки в настоящее время или в ближайшей перспективе и сформированная в одинаковых геологического-структурных условиях. Россыпное месторождение может быть неоднородным, включать, например, аллювиальные и делювиально-аллювиальные россыпи русла, поймы, террас и ложков, отличающиеся по генезису, условиям залегания, алмазоносности, составу песков и способам разработки. Россыпное проявление рассматривается как россыпь, которая по своим параметрам (содержанию, качеству полезного компонента, мощности песков, запасам и др.) не отвечает требованиям к промышленной россыпи. С изменением кондиций, проявления могут перейти в разряд месторождений.

В строении россыпных месторождений выделяются продуктивные пласти (пески), перекрывающие их отложения (торфа) и подстилающие породы — плотик.

**Пески** — рыхлые или сцементированные отложения различного состава, а также выветрелые или трещиноватые подстилающие коренные породы, содержащие полезные компоненты в промышленных или близких к ним концентрациях. Пески образуют продуктивный пласт (залежь), границы которого определяются опробованием или совпадают с границами

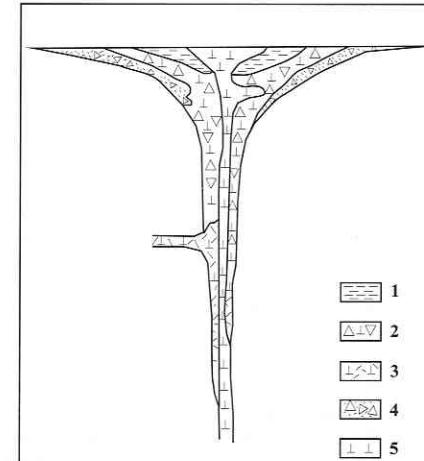


Рис. 1.13. Модель кимберлитовой трубы Австралии: 1- переотложенный слоистый туф; 2-3- непесчанистый лампроитовый туф; 4-«песчаный» туф; 5 –магматический лампроит

литологически однородного тела. В разрезе россыпного месторождения могут быть один или несколько продуктивных пластов (многоярусные россыпи), разделенных отложениями с низким содержанием полезного компонента.

*Торфа* — отложения, перекрывающие продуктивный пласт россыпи, лишённые полезных компонентов или с низким непромышленным их содержанием. Граница между торфами и песками может быть выражена литологически, но обычно определяется опробованием.

*Плотик* россыпи — поверхность коренных пород или их элювий, подстилающие продуктивный пласт. При наличии элювия коренных подстилающих пород нижняя граница продуктивного пласта определяется опробованием, верхняя часть элювия, а иногда полный его разрез входит в состав песков.

Коренными первоисточниками россыпей алмазов являются распространённые на древних платформах щёлочно-ультраосновные алмазоносные породы (кимберлиты и лампроиты), образующие трубки, дайки, серии жил, а также алмазоносные метаморфогенные породы.

Вторичные (промежуточные) источники кайнозойских и отчасти древних россыпей — алмазоносные терригенные формации, более древние россыпные месторождения и проявления, питавшиеся алмазами из древних коренных первоисточников.

Геолого-генетическая и промышленная классификация россыпных месторождений алмазов приведена в табл. 1.7.

Россыпи алмазов, как и коренные месторождения, формируются, главным образом, на платформах. В зависимости от источника питания, россыпи подразделяются на россыпи сноса и переотложения. По удалённости от питающих источников выделяются россыпи ближнего, умеренного и дальнего сноса и переотложения.

Россыпи ближнего сноса формируются непосредственно возле коренных первоисточников алмаза и характеризуются близкими им гранулометрическим составом, морфологией и качеством, сортностью алмазов. Сортировка алмазов по крупности и качеству не наблюдается или слабо проявлена, присутствуют свойственные коренным первоисточникам дефектные, трещиноватые кристаллы, осколки, комплекс парагенетических минералов-спутников разной крупности и хорошей сохранности. Алмазоносность и размеры промышленной россыпи ближнего сноса в значительной степени зависят от алмазоносности и размеров питающего коренного месторождения. С удалением от первоисточника значение средней массы зёрен алмазов довольно быстро возрастает из-за быстрого выноса мелких кристаллов. Рассыпные месторождения формируются только возле высоко алмазоносных коренных месторождений и, при отсутствии дополнительных питающих источников, имеют небольшую протяжённость, до нескольких километров. В случае комбинированного питания россыпи ближнего сноса алмазами из коренного и промежуточного источников, протяженность промышленной россыпи значительно увеличивается - до 15-20км и более; возрастает доля существенно окатанных минералов-спутников.

Россыпи дальнего сноса и переотложения не имеют видимой пространственной связи с коренными месторождениями и формируются на удалении от них в несколько десятков (умеренный снос) до многих сотен километров в благоприятных для концентрации алмазов геолого-структурных условиях. Таким россыпям свойственны: хорошая сортировка алмазов по крупности, отсутствие первично дефектных кристаллов, сравнительно высокое качество, крупность алмазов, значительный выход ювелирных камней, наличие округлых алмазов; отсутствие или незначительное содержание парагенетических минералов-спутников (обычно только пиропы), мелкие их размеры, плохая сохранность и окатанность зёрен. Аллювиальные россыпи дальнего сноса и переотложения, в связи с широким площадным распространением вторичных питающих источников, имеют обычно большую (до 20-40км) длину; значение средней массы зёрен по протяженности падает.

Россыпи умеренного сноса и переотложения по своим особенностям занимают промежуточное положение между россыпями ближнего и дальнего сноса. Они формируются в

благоприятных геолого-структурных условиях, удалены от первоисточников на расстояния от первых до нескольких десятков километров, но пространственная их связь с последними полностью не утрачена. Для них характерны: средняя, редко (при многократном переотложении) высокая степень сортировки алмазов по крупности, незначительное количество первично дефектных кристаллов, повышенное, относительно первоисточников качество, выход ювелирных камней и присутствие сокращённого комплекса зёрен парагенетических минералов-спутников средней размерности (обычно пироп, пикроильменит), средняя и плохая сохранность последних. По протяжённости этих россыпей с удалением от первоисточников значения средней массы алмазов относительно стабильные, несколько падают или падают.

Пространственно сближенные россыпи и группы россыпей алмазов объединяются в алмазоносные россыпные поля (узлы), а россыпные поля — в алмазоносные россыпные районы (зоны). Эти категории алмазоносных площадей, перспективные на промышленные месторождения, являются объектами поисков на стадиях региональных исследований.

*Алмазоносное россыпное поле (узел)* — сравнительно небольшая (от первых сотен до тысячи км) площадь распространения пространственно сближенных групп и (или) отдельных россыпей алмазов, сформированных в относительно однородных геолого-структурных, морфоструктурных и геоморфологических условиях, с определенным ограниченным набором возрастных рядов и генетических типов россыпей. Рассыпи, тяготеющие к отдельным коренным месторождениям и кустам алмазоносных рудных тел одного рудного поля, образуют россыпное поле ближнего и отчасти умеренного сноса, соответствующее понятию *рудно-рассыпного поля* (Мирнинское рудно-рассыпное поле).

Россыпи, связанные с промежуточными коллекторами площадного распространения, тяготеющие к одной россыпеконтролирующей структуре, образуют россыпное поле дальнего, реже умеренного сноса и переотложения (Эбеляхское россыпное поле). Внутреннему строению россыпного поля свойственно групповое расположение россыпей, одиночные россыпные месторождения редки или сопровождаются непромышленными россыпепроявлениями. Характерны группы последовательно сменяющихся генетических типов (элювийальные-делювиальные-аллювиальные или озерные, прибрежно-морские) и возрастов (от древних к более молодым и современным) россыпей, содержащих алмазы близкого качества (по морфологии, крупности, сортности и др.).

*Алмазоносный россыпной район (зона - линейно вытянутый аналог)* — средняя по величине (обычно одна-несколько тысяч км<sup>2</sup>) площадь, в которую территориально объединяется совокупность сближенных россыпных полей, сформированных в сходных геолого-структурных и минерагенических условиях. Объединенные в район россыпные поля тяготеют к первичным или вторичным источникам алмазов одного или нескольких близких рудных полей или промежуточных коллекторов (рассыпных формаций).

Границы (и площадь) алмазоносного россыпного района ближнего сноса (рудно-рассыпной район), тяготеющие к коренным первоисточникам алмаза, сопоставимы в целом с границами рудного района, а россыпного района дальнего сноса и переотложения - с границами крупных долгоживущих поднятий и их склонов. В пределах сводовых поднятий россыпные районы имеют форму, близкую к изометричной, в пределах линейных поднятий, сожленений с прогибами - линейно-вытянутую форму (зоны). Протяженность алмазоносных россыпных зон может достигать сотен километров, при ширине в первые десятки километров.

Алмазоносный россыпной район (зона) характеризуется близостью геолого-структурной, минерагенической, палеогеографической обстановок формирования россыпей, но входящие в него россыпные месторождения имеют множество первоисточников и отличаются по возрасту, генезису, геоморфологической позиции, условиям залегания, содержанию, крупности и качеству алмазов.

Таблица 1.7. Геолого-промышленные и генетические типы россыпных месторождений алмазов

		Типы россыпных месторождений алмазов					Примеры месторождений	
Геолого-промышленные и генетические типы россыпей	Генетические подтипы	По условиям залегания, форме и размерам	По содержанию алмазов, кг/м <sup>3</sup>	По крупности алмазов (по минерирующему классу)	По содержанию ювелирных камней	По масштабу, запасам	Примеры месторождений	
1. Аллювиальный; а) кайнозойские речные долины; б) древние докайнозойские речные долины	Очень крупных транзитных рек; крупных рек; средних размеров; мелких рек, ручьев, логов, в карстово-эрозионных депрессиях	Линейно-вытянутые (лентовидные) россыпи эрозионных и карстовых речных долин, вытянутые плавнинные россыпи древних речных долин, протяженностью: 100 км в северо-западных зонах, 0,1-0,03 километра; крупные, несколько десятков км; средние, от нескольких км до нескольких десятков км; мелкие - первые км. Ширина десятки-сотни метров, мощность 0,5-3 м до 10-30 м в карстовых долинах	1-весьма алмазоносные, более 3,0; 2 - высокоминерализованные, 1,0-3,0; 3- средней алмазоносности, 0,3-1,0; 4- слабоминерализованные, 0,3-0,1; 5- весьма слабо алмазоносные, 0,1-0,03	1 - с крупными алмазами, класс -8+4 мм; 2-с алмазами средней крупности, класс -4+2 мм; 3-с мелкими алмазами, класс -2+1 мм; 4-с очень мелкими алмазами, класс -1 мм	1 - с весьма высоким содержанием, более 60%; 2-с высоким содержанием, 30-60%; 3 - со средним содержанием, 15-30%; 4-с низким содержанием, менее 15%; 5 - с техническими алмазами	1- уникальные, более 20 млн. кг; 2-очень крупные, 10-20 млн. кг; 3-средние, 5-10 млн. кг; 4-средние, 1-5 млн. кг; 5 - очень мелкие, 0,1-1,0 млн. кг; 6 - очень мелкие, менее 0,1 млн. кг	а) пр. Эбелях, Ирекия, Холомолох, Б. Колдим, В. Бильдях (Россия), р. Кванго (Ангола), р. Виаль (ЮАР), р. Смок-Крик (Австралия) и др. броссыыи древней речной сети бассейна р. Виаль (ЮАР), «россыпи холмов» (Венесуэла), Карнуль (Индия)	Маран (Индия)
2. Элювиальный - делювиальный на ближнем сноса	Карстовый	Элювиальный на камберлитах; Элювиальный на промежуточных делювиальных склонах	1 - крупные, площадью несколько км; 2 - мелкие, площадью менее 1 км <sup>2</sup> . Мощность 1,5 до 30 м в делювиальных склонах	1-есьма алмазоносные, более 3,0; 2 - высокоминерализованные, 1,0-3,0; 3 - средней алмазоносности, 0,3-1,0; 4 - слабоминерализованные, 0,3-0,1; 5- весьма слабоминерализованные, 0,1-0,03	1 - с крупными алмазами, класс -8+4 мм; 2-с алмазами средней крупности, класс -4+2 мм; 3-с мелкими алмазами, класс -2+1 мм; 4-с очень мелкими алмазами, класс -1 мм	1 - с весьма высоким содержанием, более 60%; 2-с высоким содержанием, 30-60%; 3 - со средним содержанием, 15-30%; 4-с низким содержанием, менее 15%; 5-с техническими алмазами	Редко крупные и средние, обычно мелкие и очень мелкие	Мир, Удачный, Аихал (Россия); Баккана, Примьер, Лихтенбург (ЮАР), Тортия (Кот-д'Ивуар), Гран-Могол (Бразилия); Карнуль (Индия)

		Типы россыпных месторождений алмазов					Примеры месторождений	
Геолого-промышленные и генетические типы россыпей	Генетические подтипы	По условиям залегания, форме и размерам	По содержанию алмазов, кг/м <sup>3</sup>	По крупности алмазов (по массе классу)	По содержанию ювелирных камней	По масштабу, запасам	Примеры месторождений	
3. Генеративный: а) делювиально-пролювиальный; б) аллювиальный; в) аллювиально-пролювиально-озерный	Пролювиальный Солифлюкционный Карстовый Пляжевый Дельтовый	Вытянутые и близкие к изометричным (линзовидные, плашевые) россыпи логов, склонов и делрессий	1-есьма алмазоносные, более 3,0; 2 - высокоминерализованные, 1,0-3,0; 3 - средней алмазоносности, 0,3-1,0; 4 - слабоминерализованные, 0,3-0,1; 5- весьма слабоминерализованные, 0,1-0,03	1 - с крупными алмазами, класс -8+4 мм; 2-с алмазами средней крупности, класс -4+2 мм; 3-с мелкими алмазами, класс -2+1 мм; 4-с очень мелкими алмазами, класс -1 мм	1-есьма высоким содержанием, более 60%; 2-с высоким содержанием, 30-60%; 3 - со средним содержанием, 15-30%; 4-с низким содержанием, менее 15%; 5-с техническими алмазами	Редко крупные и средние, обычно мелкие и очень мелкие	Лог Хабардина, Мелкокаменистый, «Водораздельные галечники», Восточная Солур, Вогульская депрессия (Россия) Бенгендель, Лихтенбург (ЮАР), Калонда (Ангола)	
4. Прибрежно-морской: а) кайнозойские; б) древние докембрийские	Открытого шельфа Водно-ледниковой	Линейно-вытянутые (лентовидные) и ветвистые линзовидные россыпи, протяженностью от первых км до нескольких десятков км, шириной десятки - первые сотни метров, мощность 0,2-2 м	От высокого до слабо алмазоносных, чаще со средним содержанием алмазов	С весьма крупными и высокими, чаще средней крупности алмазами	С весьма высоким и высоким, реже средним содержанием ювелирных камней	Редко средние, обычно мелкие и средние по запасам	а) Намаканди, Кумнаас, Клонгесе (ЮАР), Каоковель, Спержан, Идагаль (Намибия); б) континентальная Тортия (Кот-д'Ивуар), Биррим (Гана)	
5. Ледниковый	Собственно ледниковый Водно-ледниковой	Площадные и вытянутые линзовидные россыпи, мощностью 1,5-2,0 м	Слабо алмазоносные	С алмазами средней крупности, класс -4+2 мм	С высоким и средним содержанием ювелирных камней	Обычно мелкие	Гуиниа, Лавра-ду-Сона, Серинья (Бразилия).	
6. Золотой	Золотой акумуляции Эоловой деградации	Линейно-вытянутые линзовидные россыпи, протяженностью до первых километров, мощностью 0,15-7,5 м	От высокого до слабо алмазоносных, чаще слабо алмазоносные	С алмазами средней крупности, класс -4+2 мм	С высоким и средним содержанием ювелирных камней	Обычно мелкие	Куказибатчи, Идагаль (Намибия)	

Типы россыпных месторождений алмазов					
Геологические и генетические типы россыпей	Генетические подтипы	По крупности алмазов (долям от общемассовому классу)			
		По условиям зарегенации, форме и размерам	По содержанию алмазов, кг/м <sup>3</sup>	По крупности алмазов (долям от общемассовому классу)	По содержанию ювелирных камней
7. Тектонический	Остационарно-целиковый Отвальный	Площадные шлейфо-видные, пластовые, неправильной формы россыпи, мощностью несколько метров	От средней до супералмазоносных	С алмазами средней крупности и основным с мелкими алмазами (класс 2+1 мм)	Со средним содержанием ювелирных камней

## 1.2.2. Основные промышленные типы россыпных месторождений алмазов

### 1.2.2.1. Возраст, генезис и морфология россыпей

Среди россыпных месторождений России известно большинство возрастных групп (табл. 1.8.), генетических и морфологических типов россыпей; не выявлены только месторождения докембрийского и позднемелового возраста, а также морские, эоловые и ледниковые, которые характеризуются в основном по зарубежным данным.

Возраст россыпных месторождений алмазов определяется, главным образом, возрастом коренных или промежуточных источников, эпохами корообразования и размыва алмазоносных продуктов их выветривания.

Количество и промышленная значимость россыпных месторождений алмазов в общем возрастают в направлении от древних докембрийских к палеозойским, мезо-кайнозойским и молодым четвертичным и современным. Отмеченная возрастная последовательность промышленной значимости россыпных месторождений алмазов в отдельных районах может нарушаться. В закрытых рудно-россыпных районах возможны древние россыпные месторождения, не сопровождающиеся современными россыпями.

Таблица 1.8. Возрастные группы россыпных месторождения алмазов и их промышленная значимость

Возрастные группы, подгруппы	Возраст месторождений	Литификация и связь с современным рельефом	Промышленная роль и примеры россыпей
Молодые	Современные, четвертичные	Не литифицированы, связаны с рельефом	Ведущая. Эбеляхская (Якутия), Бакванга (Заир)
Древние мезокайнозойские	Неогеновые, палеогеновые, позднемеловые, триас-нижнеюрские	Не литифицированы и слабо литифицированы, связь с рельефом слабая или отсутствует	Подчинённая, редко ведущая. Биллах, Водораздельные галечники (Якутия), Бакванга (Заир)
Древние, палеозойские	Пермские, ранне- и среднекарбоновые, средне- и раннедевонские	Слабо литифицированы и литифицированы, не связаны с рельефом	Подчинённая, чаще незначительная. Ишковская (Урал)
Древние, докембрийские	Протерозойские, 600-2300 млн. лет	Сильно литифицированы, метаморфизованы, не связаны с рельефом	Незначительная. Сопа (Бразилия), Биррим, Тортя (Африка)

### 1.2.2.2. Генетические и морфологические типы россыпей алмазов

Генетические и морфологические типы россыпных месторождений алмазов, форма, строение, состав и промышленная значимость россыпей разных типов кратко обобщены в морфогенетической классификации (табл. 1.9) и на рисунке 1.14 и характеризуются следующими особенностями.

Эловиальные россыпи формируются в результате физического и химического выветривания коренных первоисточников и древних промежуточных коллекторов в пределах границ

последних. Мощность кор выветривания колеблется от первых до нескольких метров в холодном и до нескольких десятков метров в тёплом влажном климате (рис. 1.15).

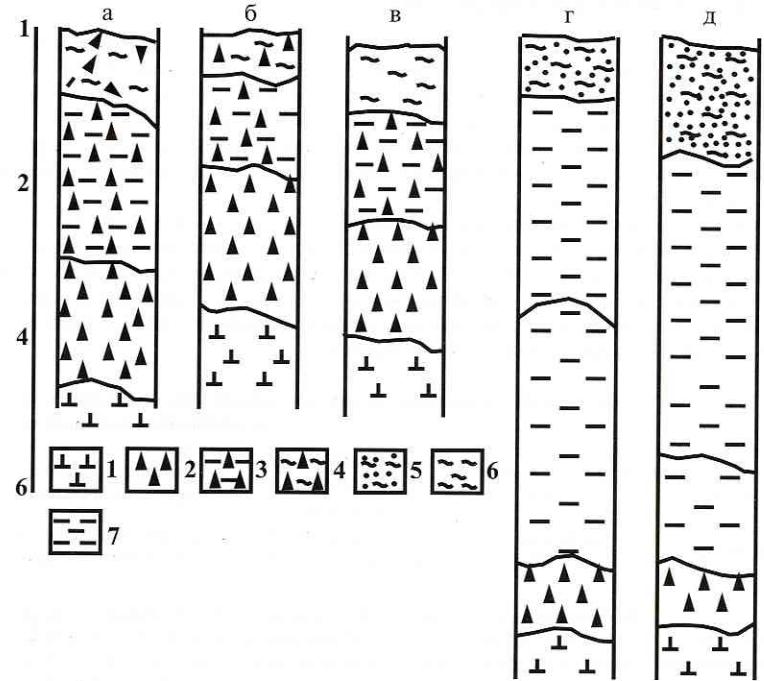


Рис. 1.14. Типовые разрезы элювиальных россыпей алмазов:  
 (а-в) - в условиях арктического климата (трубы Мир, Удачная, Зарница);  
 (г-д) - в условиях тропического климата (трубы Премьер, Ягэрсфонтейн).  
 1 — плотные кимберлиты; 2 - глина и щебенка кимберлитов; 3 - дресва кимберлитов; 4 - суглинок с редкой щебенкой кимберлитов; 5 - известняковые суглинки; 6 - суглинки; 7 - глина

Состав элювия зависит от преобладающего типа и интенсивности выветривания коренных пород: корам химического выветривания свойственны мелкозёмы с каолиновой глиной, корам физического выветривания - грубобломочные щебенчатые и глыбовые образования.

Алмазоносность элювия различна и меняется в зависимости от разновидностей руд, песков и типа выветривания: в корах химического выветривания она повышенная в верхней части разреза элювия, в корах физического, особенно мерзлотного выветривания - в нижней части. Выделяются два подтипа элювиальных россыпей: на кимберлитах и на промежуточных коллекторах.

Элювиальные россыпи на кимберлитах пользуются широким развитием (табл. 1.10). Наиболее крупные элювиальные россыпи кор химического выветривания известны на кимберлитах Африки.

Таблица 1.9. Морфогенетическая классификация основных промышленных типов россыпей алмазов

Генетический тип, подтип	Морфологический тип, подтип	Форма	Строение и состав отложений	Возраст и промышленная роль
Элювиальный: а)кор физического выветривания; б)кор химического выветривания	Водораздельные, склоновые: а)на рудных телах; б)на промежуточных коллекторах	Овальные, неправильной формы, плашевидные	Несортированные, дресвяно-щебенисто-глыбовые, щебенисто-(глинистые	Разновозрастные преимущественно кайнозойские. Второстепенная
Делювиальный: а)собственно делювиальные; б)делювиально-солифлюкционные	Склоновые, делювиевые: а)возле рудных тел; б)промежуточных коллекторов	Плашевидные, неправильной формы, шлейфовидные, линейно вытянутые (делли)	Несортированные; щебенисто-дресвяно-глинистые, глинисто-песчано-глинистые	Кайнозойские. Второстепенная
Пролювиальные	Ложковые "сухих" рек, конусов выноса	Линзовидные, лентовидные, веерообразные	Слабо сортированные; глинисто-песчаные с галькой	Кайнозойские, редко более древние. Второстепенная
Алювиальные: а)мелких речек, ручьёв, долин 1-11 порядка; б)средних рек, долин III-IV порядка; в)крупных и очень крупных рек, долин V-VI порядка и выше	Русловые и косовые Долинные Террасовые (террасовальные) Водораздельные	Лентовидные, линзовидные и серпентиновые. Лентовидные, линзовидные Лентовидные, линзовидные, серпентиновые. Пластовые	Сортированные; валуно-галечные, гравийно-галечные, глинисто-песчаные, глинистые щебенисто-галечные	Разновозрастные, преимущественно кайнозойские. Основная
Озёрные	Пляжевые, террасовые, конусы выноса	Линзовидные, пластовые, веерообразные	Одно-, многогорусные. Сортированные, глинисто-песчаные с галькой	Мезокайнозойские. Весьма неизучительная

Генетический тип, подтип	Морфологический тип, подтип	Форма	Строение и состав отложений	Возраст и промышленная роль
Прибрежно-морские	Пляжевые, террасовые, подводного шельфа	Лентовидные (липоподобные), линзовидные, веерообразные, пластовые	Сортированные; песчано-галечные, песчано-травянистые, песчаные	Разновозрастные, преимущественно кайнозойские. Второстепенная
Ледниковые	Моренные, флювиогляциальные	Планевидные, линзовидные, гнездовые	Несортированные; пески, глинистые пески с валунами, галькой	Разновозрастные Весьма незначительная
Эоловые: а) аккумуляции; б) дифракции	Дифракционные ванны, котловины выдувания, дюны	Линзовидные, гнездовые	Сортировка по аэродинамической крупности; гравийные пески	Кайнозойские. Весьма незначительная
Гетерогенные (смешанные): дделовидные, ашлювальные, ашлювально-проливные, проливально-озерные и др.	Долинные, склоновые, дюкковые, террасовые, волнораздельные	Лентовидные, линзовидные, серпоподобные, пластовые, гнездовые, неправильной формы	Одно-, многогранные. Несортированные; щебенисто-глинисто-песчаные, глинисто-глинисто-галечные	Второстепенная, редко-основная (Водораздельные галечники, Россия)
Техногенные, отвальные остаточные целиковые		Шлейфовидные, пластовые, неправильной формы	Несортированные; дресвяно-глинистые, галечнисто-песчаные	Современные. Весьма незначительная

Таблица 1.10. Сведения о типичных элювиальных россыпях, сформировавшихся на кимберлитовых телах

Провинция	Название россыпи (запасы, млн. карат)	Размеры россыпи, м.	Средняя мощность, м	Содержание алмазов по зонам, кар./м <sup>3</sup>	Зоны россыпей (мощность, м)	Содержание алмазов в коренном источнике, кар./м <sup>3</sup>
Африкано-Аравийская	Премьер (4,2)	880x500	56	2,0	Голубая земля (45) Желтая земля (11)	0,8 3,0
	Робертс-Виктор (3,3)	280x180	95	0,75	Желтая земля (40) Голубая земля (55)	1,0 0,3
	Луомза (0,3)	300x500	20	0,2	Желтая земля (8) Голубая земля (12)	0,25 0,20
	Де-Бирс (0,15)	330x210	50	0,6	Желтая земля (26) Голубая земля (24)	0,90 0,50
	Мабуки (0,02)	370x290	50	0,15	Желтая земля (30) Синяя земля (20)	0,20 0,01
Северо-Американская	Бульт-фонтейн (0,2)		40	1,0	Желтая земля (22) Синяя земля (18)	1,55 0,70
Индостанская	Маджаван (2,6)	480x228	60	0,25	Известковый туф (5) Желтая земля (30) Синяя земля (?)	0,15-0,10 0,21

Примечание. Возраст указанных в таблице россыпей – K<sub>2</sub>-Q.

В условиях холодного арктического климата элювиальные россыпи образуются только на богатых коренных источниках. Они характеризуются небольшими мощностями и приурочены только к деятельности слоя многолетней мерзлоты. Примером таких россыпей могут служить элювиальные россыпи на трубках Мир, Удачная, Айхал.

Элювиальные россыпи на кимберлитах, сформировавшиеся в условиях гумидного тропического климата, пользуются широкой известностью в Южной Африке. При этом, в отличие от россыпей Якутии, они формируются как за счет богатых, так и за счет относительно бедных кимберлитовых тел. В строении таких россыпей наблюдается четкая вертикальная зональность. Непосредственно на кимберлите залегает горизонт «синей земли», сложенный синевато-черной глиной с редкой щебенкой выветрелых кимберлитов, его мощность обычно составляет 10-60м. Выше залегает горизонт «желтой земли», представленный глиной желтовато-серого, желтовато-коричневого, реже красного цвета, пропитанной карбонатами магния

и железа; мощность горизонта 15-20м. Содержание алмазов в элювии более высокое, чем в коренном кимберлите (см. табл. 1.10).

Элювиальные россыпи на древних промежуточных коллекторах формируются обычно в условиях тропического климата. Промышленные россыпи установлены на территории Африкано-Аравийской платформы, где они образовались за счет выветривания протерозойских алмазоносных конгломератов серии Тортя (Кот д'Ивуар) и конгломератов мелового возраста серии Луанда и Кванго (Конго). Рассыпи этого типа широко развиты и на Южно-Американской и Индостанской платформах (табл. 1.11).

Первоисточниками россыпей являются, как правило, алмазоносные конгломераты.

По запасам алмазов россыпи обычно мелкие, реже - средние. Из проанализированных Б.И. Прокопчуком (1979) 50 россыпей, 44 % россыпей с запасами до 0,2 млн. кар, 52 % - с запасами от 0,2 до 1 млн. кар и 4 % - с запасами более 1 млн. кар.

Примером элювиальных россыпей Африки являются россыпи Чуумбе и Лумембо, расположенные в среднем течении р. Касаи на границе с Анголой. Они формируются на выветрелых выходах алмазоносных песчаников и конгломератов серии Кванго, иногда - на алмазоносных «галечниках плато» третичного возраста. В строении этих россыпей выделяется 2-3 горизонта (галечно-глинистый, песчано-глинистый и латеритизированный), связанные постепенными переходами. Содержание алмазов в россыпях ( $0,5-1\text{кар}/\text{м}^3$ ) в несколько раз выше, чем в первоисточниках. Мощность продуктивного пласта - от 0,6-0,8 до 3-5м. Суммарные запасы россыпей - 2-3 млн. кар. Алмазы хорошего качества, содержание ювелирных камней - 60-70%, средний вес - около 0,2 карата.

На Индостанской платформе элювиальные россыпи образуются на выходах протерозойских конгломератов, реже - аллювия древней речной сети. Рассыпи мелкие и очень мелкие, с запасами алмазов менее 0,1 млн. кар. Представлены, как правило, глинами с галькой и гравием, рыхлыми конгломератами. Иногда материал россыпей подвергся процессам латеритизации и сцементирован оксидами железа.

На территории Южно-Американской платформы элювиальные россыпи установлены в пределах Бразильского щита. Рассыпи, как правило, располагаются на выветренных выходах алмазоносных «филлитов», протерозойских конгломератов и отложений древней речной сети. Они широко развиты, но имеют небольшую промышленную ценность из-за незначительного масштаба и низкого содержания и поэтому редко эксплуатируются.

В России россыпей данного подтипа не установлено.

Делювиальные россыпи формируются в результате гравитационного и солифлюкционного сползания вниз по склону алмазоносных продуктов выветривания промышленных коренных и россыпных месторождений алмазов. Бедные питающие источники обычно не сопровождаются промышленными делювиальными россыпями из-за существенного разубоживания.

Этот тип алмазных россыпей встречается часто (около 50% запасов и до 40% от мировой добычи). Известны сотни эксплуатирующихся делювиальных россыпей. Для них наиболее характерны мелкие месторождения с запасами 0,01—0,3 млн. каратов алмазов; редко встречаются россыпи с запасами 1 млн. каратов и более и одно месторождение (Бакванга в Конго) с запасами около 400 млн. каратов. Его образование происходило в особо благоприятных геологических условиях — в результате размыва группы кимберлитовых тел при интенсивном выветривании в тропических условиях и аккумуляции алмазоносного материала в глубоких карстовых воронках.

Форма склоновых делювиальных россыпей, в зависимости от формы питающего источника и характера склона, плащевидная, шлейфовидная и деллиевая, длина — до первых километров, ширина — до первых сотен метров, мощность песков — от первых до нескольких метров.

Состав песков, как и в элювиальных россыпях, зависит от состава питающих алмазоносных и вмещающих пород, степени их выветривания и меняется от дресвяно-глинистого до глинисто-щебенистого и галечного.

Сортировка обломочного материала отсутствует или грубая, весьма слабая в делювиально-пролювиальных отложениях. Содержание алмазов обычно невысокое ( $0,1-1,0\text{ кар}/\text{м}^3$ ), четких закономерностей в распределении алмазов в плане и по разрезу россыпи не наблюдается. Алмазы делювиальных россыпей идентичны алмазам питающих источников.

Делювиальные россыпи могут формироваться за счет размыва коренных месторождений (кимберлитовых трубок и даек) и разрушения промежуточных коллекторов.

Делювиальные россыпи, образовавшиеся за счет размыва кимберлитовых тел, характеризуются обычно небольшими размерами. Их длина 0,5—1,5—2 км; ширина 250—300м, а мощность в зависимости от рельефа склона и климатических условий может быть самой разнообразной — от 1,3 до 33м, в среднем 3—5м. Среднее содержание алмазов промышленных россыпей изменяется в пределах 0,3—9 карата/ $\text{м}^3$  (табл. 1.12).

Особенности делювиальных россыпей определяются типом первоисточника, его формой и степенью алмазоносности, уклоном склона и литологией слагающих его пород. Если россыпь образуется за счет размыва одной трубы, она имеет форму усеченного конуса. Примером может служить делювиальная россыпь трубы Финч (ЮАР).

Промышленные месторождения образуются в результате размыва богатых кимберлитовых тел, а в условиях тропического климата кимберлитовые трубы средней алмазоносности могут формировать богатые делювиальные россыпи. За счет размыва группы близко расположенных на одном склоне кимберлитовых тел могут возникать россыпи более крупных размеров. Но и они по запасам редко превышают 1 млн. каратов. Такие россыпи были широко развиты в Южной Африке. Форма их разнообразная, но чаще всего конусы соседних россыпей смыкаются, образуя плащевидные залежи. Примером могут служить уже выработанные россыпи группы трубок месторождения Премьер.

За счет группы даек и жил, расположенных вдоль одного склона, могут формироваться небольшие по масштабам промышленные россыпи алмазов. Запасы этих месторождений не превышают 0,5 млн. кар, а россыпи могут образоваться только в результате размыва тел с высокими содержаниями алмазов.

Таблица 1.11. Сведения о наиболее типичных элювиальных россыпях, сформированных на древних промежуточных коллекторах

Провинция	Название россыпи. Запасы, млн. кар.	Геоморфологическая позиция	Средняя мощность, м	Содержание, кар/м <sup>3</sup>	Разрез россыпи	Первоисточник россыпи	Содержание в первоис- точниках, кар/м <sup>3</sup>
Африкано- Аравийская	Торты (БСК) 1,5	Плоский водораздел	2-4	0,31	Глина с талькой и обломками конгломерата	Протерозойские конгломераты	0,1
	Чимумбе, Конго 3,0	Пологий склон	2-3	0,5-1,0	Песчаная глина с редкой галькой	Меловые конгломера- таты	0,27-0,30
	Лумембю, Конго 2,0	Плоский водораздел	2-3	0,6-0,8	Песчаная глина с редкой галькой	Меловые конгломера- таты	0,2
	Лихтенбург, ЮАР, 0,1	Выпуклый склон	2,0	2,3	Глина, галечник	Отложения сухих рек (Q)	1,1
Индостанская	Итва, Индия 0,1	Склон	2,0	0,3-0,4	Глина, плотный конгломерат	Протерозойские конгломераты	0,15
	Шахидан, Индия 0,8	Водораздел	0,4	0,9	Рыхлые конгломераты	Протерозойские конгломераты	0,20
	Каймур, Индия 0,1	Склон	0,6	0,8-0,9	Рыхлые конгломераты	Протерозойские конгломераты	0,20
	Карнауш, Индия 0,1	Склон	0,1-0,6	0,40	Рыхлые конгломераты	Протерозойские конгломераты	0,5
Южно- Американская	Раджамундра Индия 0,1	Водораздел	0,2-0,5	0,2	Глины с редкой галькой	Протерозойские конгломераты	0,2
	Сьерра-Дас-Лаврас 0,2	Пологий склон	3-4	0,4-1,0	Глина, песок с галькой	Протерозойские конгломераты	0,2
	Жекитильонья Бразилия 0,1		0,5-0,6	Док 1,0	Песчаная глина с галькой	Протерозойские конгломераты	0,1-0,2
	Гран-Мотол Бразилия, Ауга-Суги Бразилия 2,5	Пологий склон	5-15	Док 1,0	Выветренные конгломераты	Протерозойские конгломераты	0,1-0,2
	Ауга-Суги Бразилия 2,5	Пологий склон	16	0,06-1,1	Красная глина, глинистая порода, конгломерат	Протерозойские конгломераты	0,1-0,3

Таблица 1.12. Сведения о типичных делювиальных россыпях, образовавшихся за счет размыва кимберлитовых тел

Делювиальная россыпь							
Африкано- Аравий- ская	Платформа	Коренное месторож- дение, его разме- ры, содерж., кар/м <sup>3</sup>	Название	Длина, км	Ширина, м	Мощность, м	Содержание, кар/м <sup>3</sup>
	Дайки, мощ- ностью 0,1 м 0,5-3,65	Булундинская площадь, Гвинея	0,8	200	1,3	Сцементиро- ванная глина	0,5-1,28
	Трубки рай- она Бакванга 200x300 м 0,2	Бакванга,	3	До 300	33	Глина со щебенкой ким- берлита	8-9
	Трубка Мабуки 270x290 м 0,05	Россыпь Мабу- ки, Танзания	1	250	10,7	Глинистый галечник	0,2
						Литология	400
						Запасы, млн. кар.	0,02

В России, в условиях аридного арктического климата, делювиальные россыпи немногочисленны и образуются только вблизи крупных высоко алмазоносных кимберлитовых тел. Примерами таких россыпей являются уже отработанные делювиальные россыпи трубок Мир (рис. 1.16) и Удачная. Содержание алмазов в этих россыпях в несколько раз ниже, чем в коренном кимберлите.

*Делювиальные россыпи, образовавшиеся за счет размыва промежуточных коллекторов, известны на всех древних платформах. Среди них насчитывается более сотни небольших по запасам промышленных месторождений (табл. 1.13).*

Промежуточные коллекторы, несмотря на большое разнообразие форм, подразделяются на две группы: площадного и линейного развития. Промежуточные коллекторы линейного развития при формировании делювиальных россыпей играют такую же роль, как и кимберлитовые дайки и жилы.

За счет группы даек и жил, расположенных вдоль одного склона, могут формироваться небольшие по масштабам промышленные россыпи алмазов. Запасы этих месторождений не превышают 0,5 млн. кар, а россыпи могут образоваться только в результате размыва тел с высокими содержаниями алмазов.

Таблица 1.13. Сведения о наиболее типичных делювиальных россыпях, образовавшихся за счет размыва промежуточных коллекторов

Платформа	Тип первоисточника, содержание, кар/м <sup>3</sup>	Название россыпи	Длина, км	Ширина, м	Мощность, м	Литология	Запасы, млн. кар	Характер склона
Африка-но-Аравийская	Отложения „сухих рек”; 0,5-2	Рунгтег-Лаагте (ЮАР)	1,6	220	10	Песчаные галечники	0,3	Пологий, 4—5°
	Отложения древних террас; 0,1—0,5	Лихтенбург (Родезия)	1,3	150	3	Глинистые галечники	Около 5	Уклон 2°
	Тот же; 0,1—0,2	Кизумби (Танзания)	0,9	2200	2	Песчаные галечники	0,01	Уклон 3°
	Протерозойские конгломераты 0,25	Бурити	0,6	2200	5	Суглинок, галечник	0,01	Пологий, 6—7°
Южно-Американская	Конгломераты Макаубас 0,05	Гранда (Бразилия)	0,2	2100	2,0	Песчаные галечники	0,01	Пологий, 6—7°
Индостанская	Конгломераты Банглена-палле 0,1-0,4	Ченнур (Индия)			0,6-0,8	Глинистые галечники	0,05-0,01	
Европейские	Аллювий террас 0,06	Колчим (Россия)	0,4	8200	1,6	Глинистые галечники	Менее 0,1	Пологий

Типичным примером делювиальных карстовых россыпей, возникших в основном за счет разрушения вторичных коллекторов алмаза, являются россыпи района Лихтенбург—Вентерсдорп (бассейны рек Вааль и Оранжевой) в ЮАР. Все карстовые формы связаны с возвышенным плато, приуроченным к выходам доломитов верхнего отдела Трансваальской системы (Кемпбелл-Ранд). Они залегают на его размытой поверхности вне всякой связи с современной гидросетью, на высоте 70—135м над ее уровнем. Площадь распространения карстовых воронок около 400км<sup>2</sup>. В большинстве крупных воронок проявляется довольно отчетливая зональность (снизу вверх): 1) базальный белый слой; 2) нижняя продуктивная красная зона; 3) белая промежуточная зона; 4) верхний продуктивный слабо окрашенный слой. Распределение алмазов в описываемых россыпях неравномерное. Наиболее высокие концентрации (десятки кар/м<sup>3</sup>) отмечаются в базальных и самых верхних слоях галечника (за счет последующего элювиального обогащения).

Основным промежуточным коллектором алмазов россыпей карстовых воронок служили сильно выветренные галечники "сухих" рек неогенового возраста, их содержание обычно не превышает 1кар/м<sup>3</sup>. Часть алмазов была вынесена из докембрийских конгломератов Витватерсранда.

В условиях арктического климата делювиальные россыпи, образующиеся в результате размыва промежуточных коллекторов, имеют крайне ограниченное распространение.

На Урале, в бассейне р. Б. Колчим отрабатывается алмазоносный делювий, представленный коричневой глиной, содержащей в подошве обломочный материал в количестве не более 10%. Протяженность фрагмента делювиальной россыпи 0,4км, средняя ширина 80м, мощность песков 5,1м, среднее содержание алмазов 0,05 кар/м<sup>3</sup>. Делювиальная россыпь сформирована за счет размыва высоких террас р. Б. Колчим, с содержанием алмазов 0,07кар/м<sup>3</sup>.

В Якутии установлена лишь одна россыпь этого подтипа, сформированная за счет размыва нижнеиорской делювиально-пролювиально-озерной россыпи Водораздельные галечники. Россыпь располагается на пологом склоне по южной периферии поля «Водораздельные галечники» и имеет протяженность около 800м при ширине 100м.

Небольшие фрагменты алмазоносного (0,5-1 кар/м<sup>3</sup>) делювия установлены у подножий пологих склонов долин россыпей Йрас-Юрях, Гусиная, Холомоох. Они сформированы за счет размыва водораздельных галечников плиоцен-среднечетвертичного возраста и неоген-нижнечетвертичных высоко алмазоносных осадков, выполняющих карстовые полости.

Пролювиальные россыпи характерны для сухих рек аридного климата, долин мелких речек и логов с временным водотоком и конусом выноса в их устьях и прибрежных частях приименных озёрных бассейнов.

Для сухих рек, текущих только в редкие сезоны ливневых дождей, характерны бурные грязевые потоки, несортированные и слабо сортированные песчано-глинистые отложения с валунами, глыбами и рассеянной, как в тиллитах, слабо окатанной галькой. Продуктивные обычно красноцветные грубообломочные продукты переотложения кор выветривания, тяготеющие к низам разреза и содержащие гальку высоко устойчивых пород и повышенное количество лимонита. Иногда продуктивна и верхняя часть отложений из-за обогащения при дефляции. Промышенные россыпи в сухих реках редкие, небольшие (район Лихтенбург в ЮАР, Бегенфельс в Конго), алмазы концентрируются в виде линз, гнёзд в карстовых воронках, западинах плотника, возле валунов (рис. 1.15). Мощность песков обычно 1-5м, редко больше, особенно в карстовых котлах. Россыпи перманентные, протяжённостью обычно от сотен метров до нескольких километров.

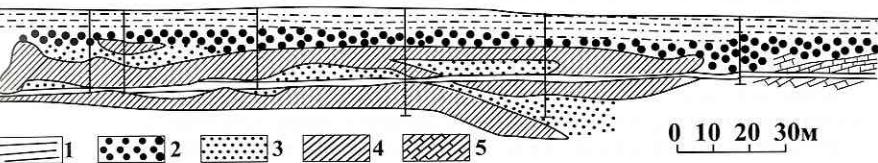


Рис. 1.15. Разрез пролювиальной россыпи в районе Бегенфельса:  
1 - бурые песчанистые суглинки; 2 - поверхностные суглинки; 3 - линзы песка и песчаника; 4 - пролювиальная россыпь; 5 - коренные доломиты и доломитизированные известняки

Более распространены пролювиальные россыпи мелких ручьёв, и конусов выноса временных водотоков в озёрах. Пролювиальные россыпи мелких водотоков в верхней части обычно сменяются делювиальными, а в приустьевой — аллювиальными, поэтому чаще они рассматриваются как гетерогенные.

Форма россыпей преимущественно линзовидная и лентовидная, длина - до первых километров, ширина от первых десятков до нескольких сотен метров, мощность песков от первых до нескольких метров. Продуктивные отложения обычно слабо сортированы, глинистые с валунами, щебёнкой, в конусах выноса они нередко разделены слабоалмазоносными, обычно мелкообломочными глинистыми осадками. Распределение алмазов весьма неравномерное струйчато-линзовидное и гнездовое, содержание чаще невысокое, максимальные его значения наблюдаются в нижней или средней и верхней частях разреза.

В арктическом климате пролювиальные россыпи представлены конусами выноса мелких рек и логов. Они известны почти повсеместно, но россыпи с повышенными содержаниями алмазов встречаются только в районах развития богатых коренных и россыпных месторождений.

дений. Содержание алмазов в пролювиальных россыпях выше, чем в делювиальных, что объясняется выносом временными водотоками мелкозернистого материала.

Примерами пролювиальных россыпей, сформировавшихся за счет размыва кимберлитовых тел могут служить россыпи лога Хабардина и ручья Мелкоильменитового в Западной Якутии (рис. 1.16).

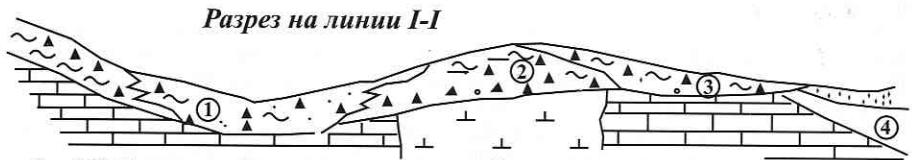


Рис. 1.16. Схематический план и разрез делювиальной и пролювиально-склоновой россыпи в Мирнинском рудно-россыпном поле: 1 - пролювиально-склоновая россыпь лога Хабардина; 2 - элювиальная россыпь; 3 - делювиальная россыпь; 4 - россыпь Водораздельные галечники

Пролювиальные россыпи формируются, как правило, возле богатых питающих источников, большинство их имеет небольшие запасы алмазов. Значительные запасы характерны для россыпей, связанных с размывом кор химического выветривания и карстом. Крупность и качество алмазов россыпей близки таковым в питающих источниках.

**Аллювиальные россыпи** на древних платформах являются наиболее распространенным типом алмазоносных месторождений (табл. 1.14).

Они формируются в постоянных или продолжительно действующих водотоках, способных перерабатывать поступающий в долину алмазоносный обломочный материал. Для них характерны слоистость отложений, сортированность обломочного материала и алмазов по крупности, преимущественно галечный его состав, лентовидная и линзовидная форма продуктивных залежей при струйчатой и струйчато-линзовидной концентрации алмазов. Большинство аллювиальных россыпных месторождений алмазов приурочено к малым и средним рекам, в крупных реках промышленные россыпи сравнительно редки и обычно с невысоким содержанием алмазов.

Содержание алмазов в аллювиальных россыпных месторождениях меняется от очень высокого: от более 3-5 кар./м<sup>3</sup> до весьма низкого.

Морфологические типы аллювиальных россыпей определяются их положением в долинах и подразделяются на русловые, долинные, террасовые, террасо-увальные и водораздельные. Редко встречаются аллювиальные россыпи карстово-эрзационных долин.

**Русловые аллювиальные россыпные месторождения алмазов** тяготеют к пристрежневому аллювию, частично охватывают галечники низких кос, пойм и характеризуются невысокой алмазоносностью, преимущественно узкоструйчатой (10-40м), линзовидной концентрацией алмазов. Россыпи прерывистые, протяжённость отдельных промышленных полигонов обычно не несколько километров, реже до 10-20км.

Таблица 1.14. Сведения о наиболее типичных аллювиальных россыпях алмазов

Платформа	Название россыпи	Тип россыпи	Параметры россыпей				Средняя масса 1 кристалла, мг	Цена, USD. Выход ювелирных камней, %
			Длина, м	Ширина, м	Мощность песков, м	Содержание, карб./м <sup>3</sup>		
Африкано-Аравийская	Р. Вааль ЮАР	Долинная	80	20-110	0,2-2,1	0,5-1,7	80	0,8-1,0 150 60-80%
	р. Оранжевая, ЮАР	Долинная	250	100-300	0,3-4	0,01-0,3	50	0,8-1,0 150 60-80%
	р. Рене (приток р. Вааль)	Долинная	4	40	0,2-1,5	1-20	1,7	0,8-1,0 150 60-80%
	р. Вег (приток р. Вааль)	Карстовая	45	120-150	23	0,02-0,2	5	0,8-1,0 150 60-80%
	Гонг-Гонг (ЮАР)	Карстовая	3	15-40	2-42	0,2-300	2,5	0,8-1,0 100-150 60-80%
	Де-Бирс (ЮАР)*	Ложковая	1,1	10-20	1-2,5	0,9-1,2	0,8	150 60-80%
	р. Риет (приток р. Вааль)	Русловая	7	до 200	1-10	0,1-0,6	1	100-150 60-80%
	р. Касан** с притоками:	Долинная Ложковые	100 1-5	60-300 10-50	0,5-4 0,5-1, 0,8-2,3	>50 0,1-1,0	0,04-0,15	70-120 55-60%
	р. Кубанго (Конго)	Долинная	100	до 80	0,6-3	0,5-1	25	0,1-0,2 50-70 50%
	р. Буши-майя* (Конго)	Русловые долинные	10-30	30-180	0,5-2	0,5-3	>50	0,07-0,08 8-10 5%

Платформа	Название россыпи	Тип россыпи	Параметры россыпей					Средняя масса 1 кристалла, мг	Цена, USD. Выход ювелирных камней, %	
			Длина, м	Ширина, м	Мощность песков, м	Содержание, карб/м <sup>3</sup>	Запасы, млн. кир			
Р.Кванто (Ангола)	Русловая долинная	3-25	30-50 до 150	0,2-2,0 до 20	0,3-1,4 до 40	1-5	0,2-0,5	150-200 60-80%		
	Террас.		До сорен	0,8-1,2						
Африкано - Аравийская	Р.Бафи* с притоками (Свера-Лесон)	Долинные террасовые	8-10 до 1 км	30-150 >1км	0,5-1,2	1,5-3 0,2-0,7	Десятки млн. кир	0,4-1,0	125 до 80%	
	Ложковые	0,3-1,0	50	0,6-1,5	1,5-3					
Р.Сева (Съера-Леоне)	Русловые, рече	Общая 170	200	0,5-1,2	1,5-3 до 6			0,08-0,10	до 100 до 60%	
	террасовые									
«Гбенко»*, р. Бауле (Гвинея)	Долинная	15	250-1000	0,3-0,45	0,53	2,1	0,5-0,8	170-260 90-93%		
	Террасовые	До 4	До 1500	До 3,0	0,15-0,21					
Р. Бирим с притоками (Гана)	Русловые, долинные	2,5-14 общ. 60	100-360	0,6-1,5	1,5-4,0	70	0,04-0,07	20		
	Террасовые, Водораздель-ные	Общая 23	200-800	0,3-9,0 ср. 2,6	0,8-1,4	20				
Манбере. Кото-Бунту и др.(ЦАР) (около 200 мелких россыпей)	Ложковые на песчаниках	До первых км	30-200	0,3-1,0	0,3-0,4	0,01-0,2 общ. 20	0,05-0,2 0,8	90-100 60-70%		
	То же на крист. цок	Общая 23	200-800	0,3-9,0 ср-2,6	0,2-0,8					

Платформа	Название россыпи	Тип россыпи	Параметры россыпей					Средняя масса 1 кристалла, мг	Цена, USD. Выход ювелирных камней, %	
			Длина, м	Ширина, м	Мощность песков, м	Содержание, карб/м <sup>3</sup>	Запасы, млн. кир			
Южно-Американская	р. Богатем (Бразилия)	Рулловая, террасовая	72	100	0,2-3	0,15	3	0,2-1,0	200 60-80%	
	р. Тибажи (Бразилия)	Рулловая, террасовая	50	60-100	1-2 до 17	0,3-0,4	6	0,25		
р. Карони (Венесуэла)	Ложковые	До 1км	30-60	0,3-1,0	0,3-0,4				150-200 60-80%	
	террасовая	35	30-150	0,2-4,5	0,2-12,5	12	0,2			
Южно-Американская	Ложковые	Первые км	30-100	0,1-1,0 ср.0,6	0,2-2,3 ср. 0,5				120-150 60-80%	
	Террасовые Ложковые	15	30-50	0,3-1	0,2-1	3	0,18-1,0			
Африканская	р.Крупн (Венесуэла)	Рулловая, террасовая	18	30-60	0,5	0,3	0,6	0,15	120-150 60-80%	
	р. Сегенанг (Венесуэла)	Долинная	5,5	20	1,5	0,5	0,4	0,15		
Сибирская	Смоук-Крик (Австралия)	Долинная	10,0	50-200	1-5	10	19	0,1	11 15%	
	Лаймстоун-Крик				1-2	8	7,1	0,1		
Аппер-Смоук-Крик	Рулловая	1,5	40-60	1,0	8	2,7	0,1	11 15%		
	Ирелляскская**	Долинная	26	350-600	2,1	0,45-1,0	>10	0,13		
Горная**	Террасовая	4,7	700	2,3	0,5	>1	0,14			
	М.Ботубобия**	Рулловая	70	50	1,3	0,2	0,1	0,10		
Пиропотовая*	Ложковая	3,2	250	4,8	0,7	0,7	0,1	0,05		

Платформа	Название россыпи	Тип россыпи	Параметры россыпей						Цена, USD/Выход ювелирных камней, %
			Длина, м	Ширина, м	Мощность песков, м	Содержание, карб/м <sup>3</sup>	Запасы, мин. карб	Средняя масса 1 кристала, мг	
Эбеляхская	Долинная	82	110	1,8	>1,0	Уникальная	0,10		
Ырас-Юрх	Долинная	8,9	120	1,9	>1	Крупная	0,17		
Гусиная	Долинная	8,7	130	2,2	>1	Крупная	0,14		
Ручей 53	Ложковая	3,3	70	1,6	1,2	0,43	0,12		
Холомолох	Долинная	8,8	109	2,3	>1	Крупная	0,15		
Биллях	Долинная	22,6	100	1,7	>1	Крупная	0,10		
В. Биллях	Эрозионно-карстовая	1,9	65	14,3	1,1	>1	0,05		
Маят	Русловая	6,3	29	1,4	0,75	0,2	0,25		
Анабар	Русловая	45	135	1,7	0,3-0,6	Средняя	0,10		
Моргогор	Долинная	8	90	1,7	0,8	>1	0,10		
Хера Mae	Долинная				0,05	>1	0,12		
Молодо	Долинная	12,4	80	2,1	1,15	>1	0,13		
Верхнее Молодо	Русловая	19	26	1,2	1,17	>1	0,10		
Б. Колчим	Долинная	19	247	4,3	0,06	<1	0,8	250-300	
Б. Колчим	Террасовая	7	135	5,4	0,06	>1	0,8	250-300	
Чурочная	Ложковая	4,5	90	2,2	0,1-0,15	>1	1,0	300	
Рассольная	Ложковая	3,2	80	2,1	0,16	>1	1,2	300-350	

\*Россыпи, сформированные за счет размыва кимберлитов;

\*\* за счет размыва кимберлитов и промежуточных коллекторов.

Остальные россыпи сформированы за счет размыва промежуточных коллекторов.

Долинные аллювиальные россыпные месторождения включают отложения русла, кос, низкой и высокой пойм и отчасти аккумулятивных первых надпойменных террас. Это наиболее распространённые кайнозойские россыпи, среди которых встречаются крупные, протяжённостью до 100км, и высокоалмазоносные, с содержанием до первых карб/м<sup>3</sup> месторождения. Большинство известных долинных аллювиальных россыпей сравнительно невелики (до нескольких километров) по протяжённости, но преимущественно широкие (сотни метров). Форма россыпей чаще лентовидная; более характерна струйчатая, струйчато-линзовидная концентрация алмазов, максимальная в приплотиковой части. Ширина струй и линз обычно больше (20-80м), чем в русловых россыпях, струи более протяжённые.

Террасовые россыпи приурочены к галечникам русловой и, отчасти, пойменной фации цокольных террас. Перекрывающие их песчано-глинистые отложения пойменной фации, как правило, слабо алмазоносны и относятся к торфам, мощность которых иногда достигает 10 и более метров. Террасовые россыпи обычно сопровождаются долинными, особенно в долинах древнего мезо-кайнозойского заложения. Они сравнительно короткие (до нескольких километров), прерывистые, чаще широкие (100-200м до первых километров) с повышенной мощностью (обычно 2-6м) и более низким содержанием алмазов. Для них также характерна преимущественно струйчатая и струйчато-линзовидная концентрация алмазов, ширина струй и линз нередко увеличивается до 50-100м и более. Аллювиальные террасовые россыпи распространены достаточно широко, но в общем имеют подчинённое значение. При их разрушении на склонах образуются более бедные аллювиально-делювиальные террасо-увальные россыпи плашевидной или неправильной изометричной формы.

Водораздельные россыпи характерны для долин мезозойско-кайнозойского заложения и приурочены сохранившимся на водоразделах реликтам галечников древней гидросети. Они имеют площадное распространение, вытянутую неправильную эллипсообразную и близкую к изометричной форме. Россыпи сравнительно короткие, широкие, часто деформированные аллювиально-делювиальные, иногда с корами выветривания. Промышленная роль их незначительна.



Рис. 1.17. Пролювиально-аллювиальная россыпь карстово-эрзационной долины  
Верхний Биллях: 1 - глинистые алевролиты; 2 — гравелиты; 3 - галечники; 4 — элювий; 5 - «доломитовая муха»; 6 - изолинии содержаний алмазов; 7 - выработки и графики содержаний алмазов

Россыпи карстово-эрзационных долин рек и логов (рис. 1.17) известны на реликтах приподнятых поверхностей выравнивания в пределах карстующихся пород (преимущественно доломитов) во многих регионах мира.

Питающими источниками являются разновозрастные коры выветривания промежуточных коллекторов алмаза. Реликты крупных речных долин и логов располагаются на водоразделах, склонах и в днищах современных долин. В днищах долин они скрыты под молодым де-

лювием и аллювием современного русла. Форма россыпей сложная, чётко видная в цепочках соединяющихся карстовых воронок или линзовидная в отдельных вытянутых воронках логов; россыпи обычно весьма невыдержаные по ширине и мощности. Преобладают прерывистые, мелкие по размерам россыпи, протяжённостью от сотен метров - первых километров до нескольких километров, шириной от первых десятков до сотен метров в пределах воронок (рис. 1.17).

Рельеф плотика очень неровный, коренные доломиты залегают на глубине от 10м между воронками до 60м в воронках и сопровождаются нередко мощными (до 30м) элювиальными глинами ("доломитовая мука") со щебнем доломитов в низах разреза. Типичный разрез продуктивных отложений: 1 - аллювий русовой и пойменной фации — галечник, мощность 4-6м; 2 - аллювиально-пролювиальные глинистые галечно-гравийные отложения с валунами, мощность 3-5м; 3 - пятнистые буро-белые песчаные глины с рассеянной галькой, иногда щебнем, глыбами доломитов, мощность 2-4м. Распределение алмазов весьма неравномерное, гнездово-линзовидное, повышенные содержания чаще тяготеют к глинистым жёлтоцветным галечникам среднего слоя, обогащенным гидрооксидами железа. Алмазы средней крупности и мелкие, а в уральских россыпях — крупные.

На формирование аллювиальных россыпей, их внутреннее строение, мощность, гранулометрический состав и алмазоносность аллювия влияют динамические фазы аллювия: инсторативный, перстративный и конструктивный (по В.В. Ламакину).

*Инсторативный аллювий* (рис. 1.18а) — аллювий стадии врезания русла, формирующийся на участках интенсивных поднятий (положительных морфоструктур) при повышенной скорости водотока с малой и очень малой мощностью аллювия. В нём преобладает крупнообломочный валунно-галечный материал с повышенным содержанием и крупностью алмазов по всему разрезу слоя. Из-за быстрого течения рек большинство мелких алмазов выносится, сравнительно крупные концентрируются преимущественно в виде линз и гнёзд. Россыпи формируются ("живые") преимущественно русловые, нередко прерывистые на участках очень малой мощности или полного отсутствия аллювия и наиболее пригодны для старательской отработки.

а) Линия 172

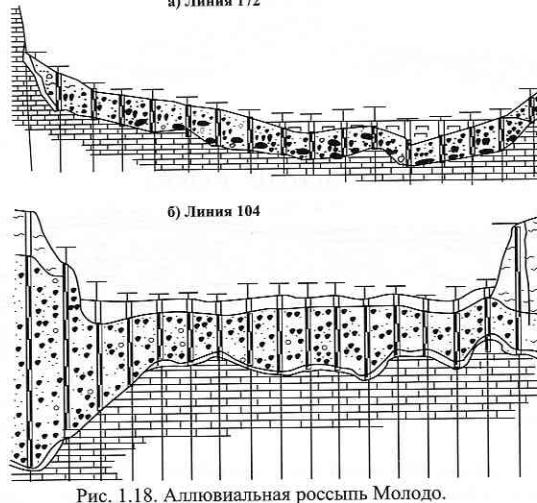


Рис. 1.18. Аллювиальная россыпь Молдо.

*Консторативный аллювий* — аллювий стадии преобладающей аккумуляции, формируется в депрессиях при медленном течении рек. Он характеризуется большой мощностью, переслаива-

ванием мелкогалечных и песчаных осадков, неблагоприятных для образования промышленных россыпей алмазов.

*Озёрные* промышленные россыпи алмазов весьма редки, известны в верхнемеловых-третичных отложениях кратерных озёр трубок Катока (Ангола), Мваду (Танзания), Орапа (Ботсвана) и в нижнеюрских отложениях озёрных водоёмов вблизи трубок Мир, Интернациональная. Обычно россыпи гетерогенные, смешанного типа, в которых осадки собственно озерного типа играют второстепенную роль.

В России отдельные промышленные залежи озерного генетического типа установлены в древних верхнепротерозойских и мезозойских россыпях Восточная, Солур, Водораздельные галечники. Представлены алевритовыми и алевро-песчаными фациями проточных озер, как правило, слабоалмазоносными.

*Прибрежно-морские* россыпи алмазов широко распространены и разрабатываются вдоль юго-западного побережья Африки, в зоне общей протяжённостью 1500км и шириной от первых десятков до 120км. Это, главным образом, россыпи современных пляжей, береговых валов и эоцен-плиоценовых "приподнятых пляжей" (прибрежно-морских террас), реже — подводного (на глубине 30-90м) шельфа и подводных потоков в каналах, перпендикулярных береговой линии. Россыпные месторождения располагаются преимущественно в виде прерывистых субпараллельных берегу полос, протяжённостью от нескольких сотен метров до нескольких километров, редко первых десятков километров. Ширина отдельных россыпей от первых десятков — первых сотен метров до 1,5-2,5км. Мощность продуктивных отложений 0,3-2,0м на пляжах, 2-3м на шельфе, до 5-10м в западинах и воронках. Россыпи прибрежно-морских террас погребены под красноцветными песками мощностью 3-20м.

Продуктивные отложения представлены преимущественно валунными галечниками, иногда конгломератами с известковистым цементом и гравийными крупнозернистыми песками с ракушечником. Для шельфовых россыпей характерны средне- и мелкозернистые пески. Валуны и галька прибрежно-морских россыпей обычно хорошо и идеально окатанные, представлены высокоустойчивыми (кварц, кварцит и др.) породами; нередко встречается галька жёлто-красного ("янтарного") халцедона, который связывают с силькремитом (кремнистым эвапоритом), характерным для эпохи химического выветривания.

Россыпные месторождения пляжевой фации (рис. 1.19) наиболее невыдержаные по длине, ширине и мощности.

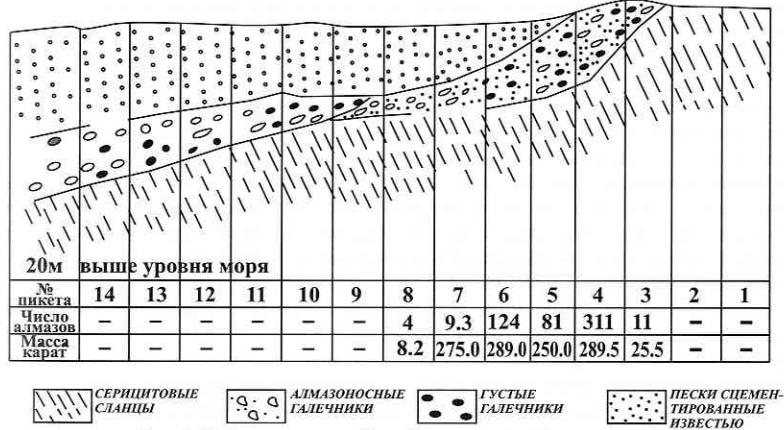


Рис. 1.19. Разрез пляжевой прибрежно-морской россыпи (Устричной линии) в Малом Намакваленде

Они характеризуются невысоким (0,2-0,5 редко до 2 кар/м<sup>3</sup>) содержанием и весьма неравномерной концентрацией алмазов, наличием обогащенных алмазами линз и гнёзд (до 10-100 кар/м<sup>3</sup> в воронках) и крупными размерами камней. Морские россыпи склонов шельфа относительно более выдержаны по форме, размерам и алмазоносности, но с меньшими размерами алмазов. Повышенные их концентрации отмечаются в нижних частях продуктивных пластов, а в многоярусных россыпях подводных дельт - также в средних и верхних частях разреза отложений. Средняя масса алмазов в пляжевых россыпях колеблется от 0,5 до 1,5 кар, в морских шельфовых и дельтовых — 0,05-0,4 кар. Выход ювелирных камней 70-95%. Прибрежно-морские россыпи дальнего сноса и переотложения отличаются высоким качеством и крупностью алмазов, средняя цена 1 карата достигает 200-300 долларов.

Древние, преимущественно докембрийские россыпи известны в пляжевых и шельфовых конгломератах и гравелитах Бирима (Гана), в конгломератах подводных дельт Тортти (Кот д'Ивуар) и Витватерсранда (ЮАР), где алмазы в небольшом количестве добываются попутно с золотом, а также в Индии и Бразилии. Месторождения небольшие и разрабатываются преимущественно на участках отпрепарированных поверхностей выравнивания с корами выветривания.

В Якутии непромышленные прибрежно-морские россыпи известны в маломощных (0,1-1,5м) конгломератах, гравелитах раннекарбонового, поздне-триасового и позднеюрского возраста на периферии платформы в зоне сочленения Анабарской антиклизы с Приверхоянским прогибом, а также в древних морских терригенных отложениях на палеоподнятиях, тяготеющих к промышленным рудно-россыпным районам. В складчатой зоне вдоль платформенного крыла Приверхоянского прогиба морские россыпи в гравелитах триасового возраста прослежены на протяжении 500км. Продуктивный пласт мощностью обычно 0,1-0,5м выходит на дневную поверхность в виде узких полос на крыльях складок с углами падения 30-60°. Распределение алмазов весьма неравномерное, линзовидное и гнездовое, содержание колеблется от 0,01 до 11,5 кар/м<sup>3</sup> и в среднем по участкам низкое, непромышленное.

Эоловые россыпи формируются в результате длительного ветрового выдувания (дефляции) частиц глинисто-песчаных фракций из рыхлых алмазоносных отложений с обогащением последних, а также ветрового переноса и аккумуляции преимущественно мелких алмазов. В первом случае образуются "остаточные" россыпи дефляционных ванн, котловин, во втором — россыпи дюн, с преобладающей концентрацией алмазов на их серповидных кругих склонах. Промышленные россыпи алмазов приурочены, как правило, к дефляционным ваннам и котловинам и крайне редки в дюнах. Месторождения дефляционных ванн и котловин распространены на морских террасах, вытянутых вдоль пустынного побережья Юго-Западной Африки и отчасти по долинам древних сухих рек, ориентированы по направлению основных ветров, внутриконтинентальных пустынных районов (Лихтенбург в ЮАР и др.).

Зона прерывистых псевдодолин дефляционного происхождения (ванн, котловин), разделенных грядами устойчивых коренных пород, протягивается вдоль Атлантического побережья Намибии на 100км к югу от бухты Людериц. Дефляционные россыпи сформированы за счёт раздувания алмазоносных морских террас, местами почти полного, до подстилающих кристаллических пород. Это способствует гнездовому скоплению алмазов в неровностях поверхности плотика, иногда с содержанием 0,2-0,5 кар/м<sup>3</sup> и запасами около 10 тыс.кар. Единственное наиболее значительное месторождение Идаталь приурочено дефляционной котловине длиной 14км и шириной 1,4км. При его разработке добыто свыше 1 млн. кар алмазов средней массой около 0,35 кар.

Продуктивные отложения преимущественно кварцевого состава, галечно-щебенистые и гравийные с валунами кварцитов, галькой жёлто-янтарного халцедона. С поверхности галечно-щебенистые отложения окремнены, местами кальцитизированы и напоминают брекчии. Мощность продуктивных отложений от 0,1 до 7м.

Алмазы в дефляционных россыпях распределены весьма неравномерно как в плане месторождений, так и в вертикальном разрезе, концентрируются в линзах и гнёздах; максимальные их содержания нередко наблюдаются возле дальних (по направлению ветра) окраин

ванн, котловин. В этом же направлении уменьшается крупность алмазов, значения средней массы кристаллов от 0,35 до 0,1кар. Алмазы нередко окрашены с поверхности в жёлтые, бурые цвета, большинство кристаллов ювелирного качества, свойственно повышенное количество алмазов с вторичными сколами, образующимися при соударении с твёрдыми, особенно кварцевыми породами.

В России россыпей золотого типа не установлено.

Ледниковые россыпи редки из-за неблагоприятных условий для концентрации алмазов и формируются только вблизи богатых первичных или вторичных питающих источников алмазов. Промышленные россыпи известны в верхнепротерозойских моренах, захвативших рыхлые алмазоносные породы питающих источников, и в водно-ледниковых конгломератах, образованных при таянии ледников (тиллиты Макаубас и конгломераты Сопа в Бразилии).

Обломочный продуктивный материал россыпей не сортирован, содержит глину, валуны и гальку со следами ледниковой штриховки. В тиллитах галька и валуны рассеяны, слоистость отсутствует. Размеры россыпных месторождений мелкие, протяжённость до первых километров, мощность песков до первых метров. Промышленная значимость ледниковых россыпных месторождений незначительная. Более распространены кайнозойские аллювиальные россыпи, питающиеся за счет площадного размыва алмазоносных ледниковых отложений, в частности, пермо-карбонового возраста в Африке и Бразилии.

Гетерогенные (*смешанного типа*) промышленные россыпи алмазов имеют достаточно широкое распространение во многих регионах (табл. 1.15).

Типичным примером гетерогенных россыпей являются россыпи, сформированные на склонах и в днище небольших водотоков, ложков (ложковые россыпи), которые представляют собой переходную стадию от делювиальных россыпей к аллювиальным. В верхних частях и на склонах долин ложковые россыпи мало отличаются от делювиальных, а в нижних частях — это типичные пролювиальные, пролювиально-аллювиальные или аллювиальные россыпи. Этот тип россыпей является одним из основных промышленных типов в Африке, Южной Америке. Ложковые россыпи чаще всего возникают за счет разрушения более древних россыпей различного генезиса.

В России ложковые россыпи смешанного генетического типа имеют ограниченное распространение на Урале, в Якутии. В Якутии они сформированы в основном за счет размыва первоисточников — кимберлитовых трубок, на Урале — за счет размыва промежуточных коллекторов. Содержание алмазов в россыпях обычно ниже, чем в первоисточнике, за исключением некоторых карстовых россыпей кор выветривания.

Другим подтипов россыпей смешанного типа являются россыпи кратерных озер и крупных озерных водоемов.

Россыпи кратерных озер весьма редки, известны в верхнемеловых-третичных отложениях, перекрывающих трубы Катока (Ангола), Мвадуи (Танзания), Орапа (Ботсвана), имеют сложные строение и генезис. Они представлены делювиальными грубообломочными валунами и грубозернистыми песчаными отложениями на бортах, пролювиальными (конусы выноса) галечными и песчаными — на склонах в прибрежной части озёр и мелкозернистыми песчаными и глинистыми — в их центральных частях. Общая мощность этих переслаивающихся отложений достигает 80-300м, мощность пластов и линз продуктивных галечников и крупнозернистых песчаных отложений 0,3-3 до 15м (Мвадуи). Алмазы в кратерные озёра поступали, главным образом, при размыве туфового кимберлитового материала, выброшенного при образовании трубок и кольцом окружавшего их кратеры. Россыпи пластовые, близки к изометрическим, площадью до нескольких кв. км. Содержание алмазов в них ниже, иногда, при переотложении кор выветривания, выше, чем в подстилающих "вторичных кимберлитовых брекчиях" и коренных кимберлитах и колеблется от 0,1 до 2,5 кар/м<sup>3</sup>.

Россыпи в нижнеюрских отложениях озёрных водоёмов возле трубок Мир и Интернациональная сложного пролювиального (на бортах), прибрежно-озёрного и аллювиального (в ложбинах стока вод) генезиса. Месторождения, как правило, многоярусные, их продуктивные залежи представлены галечными песчаниками, конгломератами, разделёнными слабо-

алмазоносными мелкозернистыми песчаниками, алевролитами и углистыми глинами фации заболочиваемых озёр, венчающими основные ритмы осадконакопления. Каждый ритм начинается с оживления эрозии питающих источников и приводит к формированию следующего продуктивного пласта. Общая мощность отложений достигает 40м, мощность продуктивных пластов, линз колеблется от первых до нескольких метров. Площадь продуктивных залежей от 0,15 до 3,5 кв. км. Алмазы концентрируются в конусах выноса и линзах, вытянутых попе-рёк и вдоль береговой линии, а также в струях вдоль ложбин стока озёрных вод, максимальные их концентрации наблюдаются в мелких (десятки метров) гнёздах. Наиболее алмазоносными являются отложения конусов выноса и продуктов кор химического выветривания с каолиновыми глинами. В вертикальном разрезе прибрежно-озёрных отложений алмазы распределены очень неравномерно, повышенные их содержания наблюдаются как в нижних, так и средних, верхних частях продуктивных залежей. Содержание алмазов в россыпях значительно ниже, чем в кимберлитах, однако в отдельных линзах и струях из переотложённых кор выветривания оно может быть и выше.

*Техногенные* россыпи образуются при неполной отработке природных россыпей и из-за недонизвлечения алмазов при промышенной переработке песков или руд на обогатительных фабриках и, соответственно, подразделяются на остаточные целиковые и отвальные. Остаточные целиковые россыпи включают в себя бортовые, внутренконтурные и охранные целиковые, недоработанные участки, а отвальные — отвалы хвостохранилищ обогатительных фабрик и иногда отвалы вскрышных работ. Состав отвалов хвостохранилищ галефельный или глинисто-древесный с редкими обломками пород. Содержание и крупность алмазов в них прямо зависит от таковых в перерабатываемых песках и рудах, однако крупные алмазы сравнительно редки. Содержание алмазов в отвалах вскрышных работ обычно низкое, кристаллы преимущественно мелкие. На некоторых коренных месторождениях Африки (трубка Приммер) и России перерабатываются отвалы с целью извлечения мелких (-1+0,5мм) алмазов. Распределение алмазов в отвалах хвостохранилищ неравномерное как в плане, так и в разрезе, что обусловлено изменчивостью схем и режимов обогащения, переработкой в разное время песков и руд с разных участков и месторождений.

Таблица 1.15. Сведения о наиболее типичных десульфидно-проливиально-озёрных, аллювиально-десульфидно-проливиальных россыпях смешанного типа

Платформа	Название россыпи	Тип россыпи	Параметры россыпей				Средняя масса 1 кристалла мин. карат	Запасы, мин. карат	Цена 1 карат \$	Выход ювелирных камней, %
			Длина, км	Ширина, м	Мощность песков, м	Среднее содержание жилье, карат/м <sup>3</sup>				
Сибирская	Восточная	Аллювиально-десульфидно-проливиальная	5	0,4-0,6	0,5	>1	>1	0,08	70-80	60-80%
		Десульфидно-проливиальная, проливиально-озёрная	3,2	800-1200	7-10	>1	>10	0,04	50-70	60-80%
	Водораздельные галечники	Десульфидно-проливиальная, проливиально-озёрная	2	0,2-0,4	0,3-1,5	>1	>1	0,09	70-80	60-80%
		Десульфидно-проливиальная, проливиально-озёрная	200-350	1,0-7,4	0,5	<1			50-70	60-80%
	Солур	Десульфидно-проливиальная, проливиально-озёрная	4,8	55-140	1,6	0,5	>1			50-70
		Аллювиально-десульфидно-проливиальная	1,5	260	2,8	1,0	>1			60-80%
Европейская	Лога Горелого	Десульфидно-проливиально-аллювиальная	1,6	260	2,4-4	0,45	>1	0,03	40-60	50-70%
		Десульфидно-проливиальная	1,6	360	4,8	0,04	0,07	0,8	30-50	40-60%
	Лога Хабардина	Десульфидно-проливиально-аллювиальная	1,6	200	1,0-12,3	0,3-0,8	<1		250	95%
		Проливиально-озёрная	3,0	200					250-300	
Ручей Мелкомыситовский	Ручей									
	Вогульская депрессия									
Рассолининская	Вогульская депрессия									

Примечание. Цена 1 карата и выход ювелирных камней приведены с некоторой долей условности. Выход ювелирных камней включает и кристаллы полу涓еллярного качества.

### 1.3 Добыча и обогащение алмазов

Разработка всех коренных и россыпных месторождений алмазов в России начиналась и продолжается в основном наиболее эффективным открытым способом. Открытый способ разработки алмазных месторождений останется главенствующим и в перспективе, хотя доля подземного способа (начав с пуском в эксплуатацию рудника «Интернациональный») будет постепенно возрастать и к 2015г., с вводом рудников «Айхал», «Мир» и «Удачный», приблизится к 40 %.

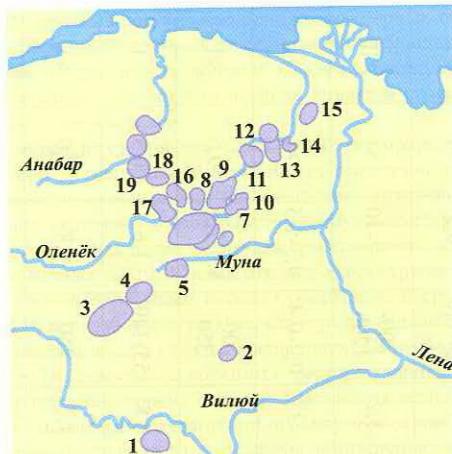


Рис.1.20. Кимберлитовые поля на территории Якутии:  
1 – Мирнинское; 2 – Накынское; 3 – Алакит-Мархинское; 4 – Далдинское;  
5 – Мунское; 6-19 – кимберлитовые поля на отдаленных территориях.

АК «АЛРОСА» сегодня представлена 4 горно-обогатительными комбинатами, ведущими добычу алмазов в Западной Якутии. Это Мирнинский, Айхальский, Удачнинский, и Нюрбинский ГОКи. Компания имеет также контрольные пакеты акций в ОАО «АЛРОСА-Нюрба», ОАО «Алмазы Анабара» и ОАО «Севералмаз»; кроме того, 32,8% акций принадлежат Компании в динамично развивающемуся алмазодобывающем предприятии в Республике Ангола - горнорудном обществе (ГРО) «Катока».

В целом за период своего существования АК «АЛРОСА» непрерывно увеличивала объемы добычи алмазов, доведя их в 2008г. более 3000 млн долл. против 1115 млн долл. в 1993г.

По объему добычи природных алмазов в физическом выражении Россия в течение последних нескольких лет прочно занимает первое место в мире - около-25 % от мирового уровня. Особенностью наших горнообогатительных комбинатов является то, что в их составе работают карьеры и рудники, по своим сложнейшим совокупным горно-геологическим характеристикам и параметрам не имеющие аналогов в мировой практике ведения горных работ. К ним в первую очередь следует отнести:

- наличие до глубины 400-600м и более многолетнемерзлых пород;
- присутствие в границах открытой и подземной разработки мощных пластов каменной соли, на ряде месторождений имеется по несколько водоносных горизонтов, агрессивные рассолы которых характеризуются концентрацией солей до 400 г/л, содержат сероводород, метан и другие вредные компоненты, полностью исключающие их сброс в речную сеть;
- значительные глубины открытой разработки (карьер «Мир» -525м, карьер «Юбилейный» - 500м, карьер «Удачный» - 610м) при крутых (48-52°) углах откосов бортов карьеров;

-наличие при подземной разработке дополнительно битумонефтепроявлений, опасность горных ударов и субфлюрных выбросов метана и других газов.

Работа горнодобывающих предприятий АК «АЛРОСА» в столь сложных условиях естественно сопряжена с более высокими (по сравнению с зарубежными предприятиями) капитальными и текущими затратами на добычу минерального сырья.

Конкурентоспособность добываемой продукции в таких условиях обеспечивается не столько за счет высокой стоимости алмазов в тонне руды, сколько в результате внедрения новых технологий, высокопроизводительного горнотранспортного и обогатительного оборудования, передовых методов организации труда и производства на основных и вспомогательных процессах.

Традиционная технология добычи алмазов в общих чертах состоит из нескольких стадий.

Этап горных работ включает вскрышные работы и добычу руды с использованием главным образом взрывов (Рис. 1.21а,б).

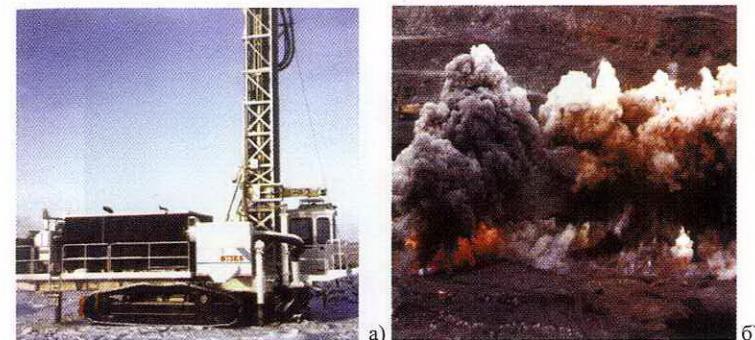


Рис. 1.21а,б. Буровзрывные работы

При их проведении осуществляется первоначальное дробление кимберлита.



Рис. 1.22 Отработка карьера «Удачный» открытым способом

На всех карьерах принята транспортная система разработки с вывозом вскрышных пород во-внешние отвалы. Эксплуатация технологического автотранспорта в кимберлитовых карьерах Якутии осуществляется в особо сложных горнотехнических условиях, что ведет к существенному увеличению затрат на горные работы.

Для транспортирования руды и вскрышных пород используются автосамосвалы большой и особо большой грузоподъемности — от 40 до 136т. Только в Удачнинском ГОКе более 100 самосвалов, за год они перевозят до 20 млн.тонн породы (Рис. 1.22).

На основных крупных месторождениях АК «АЛРОСА» осуществляется переход с открытого на подземный способ отработки, что связано с существенным усложнением условий ведения горных работ, технологий выемки руды.

Серьезное внимание уделяется вопросам сохранности полезного ископаемого на горнодобывном и обогатительном переделах. Специальными исследованиями доказана эффективность и целесообразность применения комбайновых комплексов (Рис. 1.23), обоснованы требования к их основным конструктивным элементам, обеспечивающим минимальное повреждение ценного сырья. При работе комбайна руда поступает с максимальным размером куска, приблизительно 50мм. При подземной добыче можно говорить о полном отказе от таких переделов как взрывы и экскаваторы и некоторых методов обогащения, таких как дробление, измельчение в мельницах мокрого самоизмельчения (MMC).



Рис. 1.23. Комбайновая выемка руды

#### При обогащении алмазов используются его свойства:

1. Высокая твердость — кимберлит дезинтегрируется в мельницах в процессе самоизмельчения.
2. Значительная плотность — алмаз вместе со своими спутниками (пиропом, ильменитом и др.) извлекается в грубый концентрат в тяжелых суспензиях, на отсадочных машинах и в винтовых сепараторах.
3. Интенсивная люминесценция — при доводке грубых концентратов для извлечения алмазов применяется рентгенолюминесцентная сепарация.
4. Способность поверхности алмаза смачиваться аполярными углеводородами — при извлечении мелких алмазов используются пенная сепарация и флотация, где реагентом-сборщиком служат различные масла; для извлечения не люминесцирующих алмазов, а также технических сортов минерала (карбонат, борт, баллас и др.) — жировая (липкостная) сепарация.

На обогатительной фабрике руда поступает в мельницы (циклические сооружения высотой 8-12м), где измельчается до кусков размером менее 50мм. Измельчение — наиболее энергозатратный передел.

В настоящее время на обогатительных фабриках применяются мельницы мокрого самоизмельчения (MMC) с торцевой разгрузочной решеткой (Рис. 1.24).



Рис. 1.24. Мельница мокрого самоизмельчения MMC-10,4x4, «Свадала».

После выхода из мельницы куски измельченной руды распределяются по технологическим фракциям на ситах-грохотах, названных так, вероятно, из-за специфических звуков, издаваемых ими при работе.

На руде трубки «Интернациональная» 5 исследована возможность безмельничного обогащения рудной массы после комбайновой выемки с использованием предварительного грохочения, получены перспективные результаты по сохранности кристаллов.

В последние годы на алмазо-извлекательных фабриках АК «АЛРОСА» все большее распространение получает процесс обогащения в тяжелых средах, который характеризуется наибольшей, по сравнению с другими гравитационными методами обогащения, точностью разделения материала по плотности, что позволяет получать высокое извлечение ценного компонента при минимальном выходе концентрата. Технологии обогащения в тяжелых средах внедрены с высоким экономическим эффектом на всех фабриках.

И так, после грохочения, производится тяжелосреднее обогащение: из руды выделяют тяжелую фракцию — куски породы плотностью более  $2,5-3,0\text{ г}/\text{см}^3$ . Алмазы, обладая плотностью  $3,5\text{ г}/\text{см}^3$ , попадают именно в нее. Легкая фракция, состоящая обычно из известняков и песчаников, выводится в отвал. Освоение тяжелосредней сепарации алмазосодержащих руд на фабриках показало, что: этот процесс намного эффективнее других гравитационных процессов обогащения. Его применение позволяет в 2–3 раза сократить выход гравитационных концентратов при высоком до 97–99% извлечении алмазов; смонтированные на фабриках модульные установки, укомплектованные надежным в работе технологическим оборудованием, имеют схему автоматического контроля и регулировки основных параметров процесса, которые обеспечивают высокую технологическую эффективность. Управление процессом и регулировка режимов работы основного технологического оборудования компьютеризировано и осуществляется оператором диспетчерского пункта.

Тяжелосредняя сепарация с успехом может быть применена и для обогащения, как кирпичных руд, так и песков россыпных месторождений.

Для извлечения алмазов из тяжелой фракции руды используется ряд радиометрических методов. Наиболее продуктивный из них — метод рентгенолюминесцентной сепарации. Он является основным обогатительным методом, применяемым в алмазодобывающей промышленности.

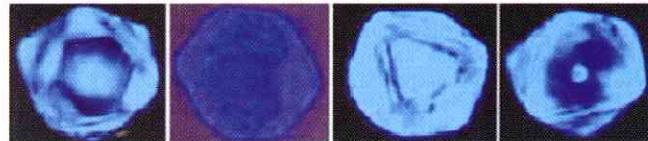


Рис. 1.25. Рентгенолюминесценция алмазов ювелирного качества

В его основе — свойство алмазов люминесцировать под воздействием рентгеновского излучения (рис. 1.25). Автоматические рентгенолюминесцентные сепараторы широко используются на обогатительных фабриках России, ЮАР и в ряде других стран с развитой алмазо-

добывающей промышленностью. Рентгенолюминесцентный сепаратор – сложный высокоавтоматизированный измерительный прибор, извлекающий частицы с требуемыми характеристиками по результатам проведенного измерения светового потока от люминесцирующего минерала (рис. 1.26).



Рис. 1.26. Рентгенолюминесцентный сепаратор.

Сепарацию, в свою очередь, подразделяют на обогащение и доводку концентратов. Алмазы из руды извлекают именно доводочными операциями рентгенолюминесцентной сепарации.

На современных обогатительных фабриках используют рентгеновские и жировые машины. На рентгеновских установках руду облучают, если в ней попадается алмаз, он начинает светиться голубоватым светом, пневматический толкатель отсекает алмаз по сигналу фотографического датчика.

Жировые машины более примитивны. Раздробленный кимберлит пускают вместе со струей воды по наклонному столу, покрытому слоем жира толщиной 2–3мм, алмазы прилипают к жиру, в то время как пустая порода уносится водой. Раз в час машину останавливают, скрывают жир с алмазами со стола. Смесь нагревают и растопившийся жир отделяют от алмазов. В России применяется еще и пенный флотатор, он предназначен для извлечения алмазной пыли.

Наиболее весомым достижением Компании в области обогащения алмазов в последнем десятилетии является пуск в промышленную эксплуатацию обогатительной фабрики № 16 Нюрбинского ГОКа. В проекте фабрики учтены передовые достижения отечественной и зарубежной технологий, использован многолетний опыт проектирования и эксплуатации фабрик АК «АЛРОСА».

В основе технологической схемы – наиболее рациональный отечественный вариант технологии обогащения алмазосодержащих кимберлитов:

- раскрытие алмазов из руды в мельницах самоизмельчения;
- додрабливание промышленных продуктов наиболее щадящим методом – разрушением в валковом прессе высокого давления;
- первичное обогащение руды на модульных тяжелосредных установках;
- компьютерное управление оператором с диспетчерского пульта процессом и регулировка режимов работы основного технологического оборудования;
- внутрифабричная транспортировка алмазосодержащих продуктов вертикальными и горизонтальными конвейерами, гарантирующими полную сохранность кристаллов алмаза.

При решении проблем перехода на подземный способ отработки впервые реализована технология сухой консервации карьера «Мир», не имеющая аналогов в мировой практике. В 2009 году будет запущен в эксплуатацию рудник «Мир», в 2010 году «Айхал», в 2013 году подземный рудник «Удачный», в 2011–2013 году, подземные рудники на трубках «Нюрбинская» и «Боутобинская» и рудное тело «Майское».

Стоимость новых рудников ("Мир", "Айхал", "Удачный"), строительство которых активно ведется в настоящее время, составит около 2,5 млрд. долл., а суммарная мощность – 6 млн т

руды в год. Приобретенный в Якутии опыт при разработке коренных месторождений позволяет "АЛРОСА" активно осваивать новые регионы.

В связи с истощением руды в трубках-«чемпионах» в эксплуатацию сегодня вовлекаются «резервные» месторождения, которые либо невелики по запасам руды (трубка «Дачная»), либо имеют относительно невысокое содержание полезного компонента (трубки «Комсомольская», «Зарница»). Но главные перспективы – это отдаленные месторождения Заполярья. Используемое оборудование для разработки таких месторождений должно иметь способность работать в автономном режиме, быть мобильным и недорогим, а сама технология – максимально упрощенной и ориентированной на добычу сырья ювелирного качества. Применение модульных установок – одно из возможных направлений снижения непроизводительных затрат.

В связи с освоением месторождений с низким содержанием алмазов (забалансовые месторождения), малых по объемам запасов и удаленных от существующих обогатительных фабрик в АК «АЛРОСА» осваивается новая технология – сухое обогащение алмазосодержащей руды в условиях низких температур.

Для отработки трубок с низким содержанием алмазов и экономикой, не позволяющей добывать алмазы традиционными способами, предназначен метод «сухого» обогащения. На борту карьера устанавливается мобильная обогатительная установка, для отделения руды от пустой породы, что в несколько раз сокращает количество обрабатываемой руды, что в свою очередь сокращает общие затраты на обогащение. Развитие данного направления потребовало разработки и изготовления нового радиометрического оборудования, способного работать в диапазоне температур от -40 до +40 °C. Созданные экспериментальные сепараторы были испытаны в составе установки сухого обогащения АГОКа на Сытыканском месторождении.

На россыпных месторождениях в последние годы компания «АЛРОСА» ушла от традиционного строительства фабрик и начала использовать модульные установки, с получением на конечной стадии концентратов с высоким содержанием алмазов с дальнейшей переработкой на фабриках. Установки легко перемещаются с одного места на другое и не требуют много затрат электроэнергии, что особенно важно в отдаленных районах севера, где применяют генераторы.



Рис. 1.27.Модульная установка

На Анабарском ГОКе смонтирована и введена в эксплуатацию модульная обогатительная установка, предназначенная для обогащения алмазосодержащего сырья россыпных месторождений в полевых условиях работы. Установка воплощает принципиально новый подход в освоении россыпных месторождений, разбросанных в пределах большой площади. Она состоит из отдельных модулей, которые при необходимости могут быть в короткий срок демонтированы, перевезены на новое место и смонтированы вновь.

Основные технологические переделы модульной установки оснащены современным отечественным и импортным оборудованием и автоматизированы. Электроснабжение осуществляется от автономного дизель-генератора. Технологические процессы обеспечивают минимальное потребление электроэнергии, воды и максимальную сохранность кристаллов алмаза.

Оборудование и технология высоконадежны, обеспечивают сохранность алмазной продукции, удовлетворяют нормам техники безопасности, экологии и охраны недр.

Дальнейшие перспективы алмазодобывающей промышленности связаны с вовлечением в эксплуатацию новых месторождений в отдаленных районах Заполярья. В Якутии открыто более тысячи кимберлитовых трубок, но пригодными для промышленной эксплуатации являются лишь некоторые из них. Подавляющее большинство кимберлитовых трубок либо низкоалмазоносно, либо вообще не содержит алмазов. Все они территориально сгруппированы в кимберлитовые поля (рис. 1.20). В настоящее время эксплуатируются месторождения Мирнинского, Накынского, Алакит-Мархинского и Далдынского полей. Вовлекаются в эксплуатацию Мунские трубы. Кимберлиты разбросаны по обширной территории, причем преимущественно в заполярных районах, практически неосвоенных и малонаселенных. Строить в таких местах города и крупные горно-обогатительные комбинаты, которые окажутся не востребованными после завершения эксплуатации алмазных месторождений, вряд ли целесообразно.

Наряду с тенденцией к уменьшению алмазоносности, для кимберлитов Заполярья характерны снижение качества алмазов и увеличение доли недорогого технического сырья за счет снижения содержания ювелирного.

Добыча полезных ископаемых экономически целесообразна при условии превышения стоимости конечной продукции над затратами. В данном случае эта стоимость, по перечисленным выше причинам, имеет тенденцию к снижению при одновременном увеличении расходов на добычу. Таким образом, для успешного освоения низкопродуктивных алмазных месторождений требуется резкое снижение себестоимости используемых технологических процессов.

Из выше сказанного видно, что компания «АЛРОСА» находится в постоянном совершенствовании своих технологических процессов, что дает свои результаты и из года в год происходит увеличение добываемой продукции.

## ГЛАВА II. МИНЕРАЛОГИЯ АЛМАЗА

### 2.1. Химический состав и химические свойства алмаза

#### 2.1.1. Полиморфные модификации углерода

Алмаз состоит из углерода, об этом впервые в 1704г. высказал предположение Ньютон, а экспериментально было подтверждено в конце XVIII (Tennant, 1797; Guyton de Morveau, 1799).

##### Углерод С.

Порядковый номер 6

Атомный вес – 12,011

Изолированный атом углерода в основном состоянии имеет электронную конфигурацию:  $1s^2 2s^2 2p^2$ .

В химических соединениях углерод ведет себя как ковалентный атом, что может быть объяснено тем, что атомы углерода при этом находятся в различных состояниях: известно несколько типов гибридизации валентных электронов [64,65].

#### 1. $sp^3$ -гибридизация валентных электронов

В результате  $sp^3$ -гибридизации валентных электронов образуются 4 равнозначных  $\sigma$ -связи под углом  $109^{\circ}28'$  друг к другу, направленных к вершинам правильного тетраэдра (рис. 2.1). К полиморфным модификациям с  $sp^3$ -гибридизацией электронов относят алмаз и лонсдейлит.

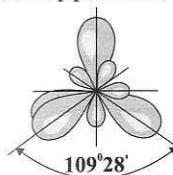


Рис. 2.1.  $sp^3$ -гибридизация валентных электронов.

Лонсдейлит – Гексагональная сингония.

Пространственная группа  $D_6^4h$  –  $P6_3/mmc$ .

Кристаллическая решетка алмазного типа, элементарная ячейка – гранецентрированный куб,  $Z=8$ , координационное число – 4.

$a_0=0,357$  нм,  $\rho_0=3,515$  г/см<sup>3</sup>

Алмаз – Кубическая сингония.

Пространственная группа  $O_h^0$  –  $Fd_3m$ .

Кристаллическая решетка алмазного типа, элементарная ячейка – гранецентрированный куб,  $Z=8$ , координационное число – 4.

$a_0=0,357$  нм,  $\rho_0=3,515$  г/см<sup>3</sup>

Лонсдейлит – Гексагональная сингония.

Пространственная группа  $D_6^4h$  –  $P6_3/mmc$ .

Кристаллическая решетка – типа вюрцитита,  $Z=4$ ;  $a_0=0,252$  нм;  $c_0=0,412$  нм;  $\rho_0=3,51$  г/см<sup>3</sup>.

Эту модификацию углерода впервые обнаружили в 1967г. Ханнеман, Стронг и Банди при исследовании алмазов из метеоритов. Фрондель и Мэрвин (1967г.) предложили для нее название – лонсдейлит – в честь известного ученого кристаллографа миссис Кэтлин Лонсдейл.

Эта модификация углерода найдена и в импактных алмазах (1972г.).

#### 2. $2sp^2$ -гибридизация валентных электронов

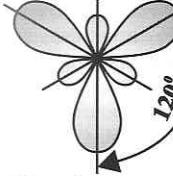


Рис. 2.2.  $2sp^2$ -гибридизация валентных электронов

При  $2sp^2$ -гибридизации валентных электронов каждый атом С образует 3  $\sigma$ -связи и  $\pi$ -связи (рис. 2.2).

$sp^2$ -гибридизация валентных электронов имеют атомы углерода в графите (гексагональный, ромбоздрический и кубический) и фуллеренах.

Графит гексагональный – Гексагональная сингония. Пространственная группа  $D_6h$  –  $P6_3/mmc$ .

Кристаллическая решетка гексагональная двухслойная. Расстояние между слоями 0,335 нм,  $Z=4$ ; координационное число = 3;  $a_0=0,246$  нм;  $c_0=0,670$  нм,  $\rho_0=2,267$  г/см<sup>3</sup>.

Графит ромбоздрический – Тригональная сингония.

Пространственная группа  $D_{3d}^5$  –  $R3m$ . Кристаллическая решетка гексагональная трехслойная,  $Z=6$ ; координационное число = 3;  $a_0=0,246$  нм;  $c_0=1,006$  нм.

В природном графите содержится до 30% ромбоздрической модификации.

Графит кубический – Кубическая сингония,  $Z=24$ ;  $a_0=0,554$  нм;  $\rho_0=2,80$  г/см<sup>3</sup>.

Образуется при давлении 15 ГПа из гексагонального графита.

**Фуллерены** –  $C_{60}$  (и другие) – кубическая ячейка, пространственная группа  $F_{m\bar{3}m}$ ;  $\rho_0=2,80\text{г}/\text{см}^3$ . Названы в честь американского архитектора Ричарда Баклилстера Фуллера, применившего в 1895г. при строительстве зданий с купольной структурой принцип построения многогранников из пяти- и шестичленных колец [9].

Фуллерены представляют из себя сферические чужеродные многогранники. Наиболее известный фуллерен –  $C_{60}$  имеет форму усеченного икосаэдра – комбинации 13 пятичленных и 20 шестичленных колец (которые присутствуют среди рисунков Леонардо да Винчи в виде платоновых тел – символов первоэлементов, ассоциировавшихся с «квантессенцией», первоэлементом эфира. Позже они были выведены в XVIII веке великим математиком Эйлером).

В 60-х годах XXв. Д.Джонс высказал соображения о возможности существования таких многогранников из углерода.

В 70-х годах в Институте элементо-органических соединений им. Несмеянова (ИНЭОС) Гальперин Е.Г. и Станкевич И.В. под руководством проф. Бочвара Д.А. провели квантово-химический расчет молекул  $C_{60}$ .

В 80-х годах с помощью спектрометров высокой чувствительности в спектрах красных гигантов (углеродных звезд), в хвостах комет и в межзвездной пыли обнаружили диффузные линии поглощения, принадлежащие углеродным кластерам, которые в 1985г. физики Г. Крото и Р. Смолли, не знавшие о работах группы Д.А. Бочвара в Москве, интерпретировали как  $C_{60}$  и  $C_{70}$ , и назвали фуллереном.

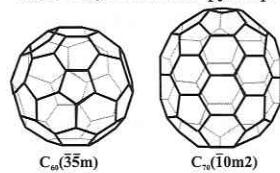


Рис. 2.3. Фуллерены  $C_{60}$  и  $C_{70}$

В 1990г. были получены фуллерены экспериментально.

В настоящее время известны не только  $C_{60}$ ,  $C_{70}$  (рис.2.3), но и другие ( $C_{110}$  и с более атомами углерода). Родилась целая область науки в связи с тем, что фуллерены оказались весьма прочными и термостабильными веществами, способными давать соединения с различными элементами, которые могут обладать сверхпроводниковыми, магнитными свойствами, образовывать биологически активные вещества.

В частности, в ходе Чернобыльской аварии при высокотемпературном разрушении графитовых стержней могли возникать «радиоактивные контейнеры» из фуллеренов, внутри которых заключены радиоактивные атомы урана и других металлов, способные легко проникать через биологические мембранны.

### 3. sp-гибридизация валентных электронов

При sp-гибридизации валентных электронов атомы С образуют 2  $\sigma$ -связи под углом  $180^\circ$  (рис.2.4) и в результате перекрывания 2-х орбиталей каждого из атомов С –  $2\pi$ -связи. sp-гибридизация валентных электронов наблюдается в чаоте и карбинах.

Чаот – углеродная фаза из кратера Рис – гексагональная сингония, кристаллическая ячейка гексагональная, пространственная группа  $P_6/mmm$ ,  $Z=168$ ;  $a_0=0,895\text{ нм}$ ;  $c_0=1,408\text{ нм}$ ;  $\rho_0=3,43\text{г}/\text{см}^3$ .

**Карбины.** Впервые карбины были синтезированы в 1967г. в ИНЕОСе А.И. Сладковым и В.В. Коршаком.

Известно 6 форм карбонов. Наиболее изучены  $\alpha$ - и  $\beta$ - гексагональные полиморфные модификации, имеющие гексагональную ячейку:

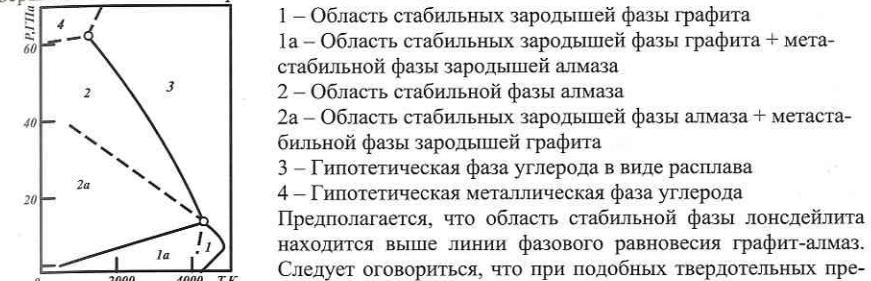
$\alpha$ -карбин –  $C=C-$ ,  $Z=144$ ,  $a_0=0,892\text{ нм}$ ;  $c_0=1,408\text{ нм}$ ;  $\rho_0=2,68\text{ г}/\text{см}^3$ .  
 $\beta$ -карбин =  $C=C=C-$ ,  $Z=72$ ,  $a_0=0,824\text{ нм}$ ;  $c_0=0,768\text{ нм}$ ;  $\rho_0=3,13\text{ г}/\text{см}^3$ .

В 1970г. Каваи при давлении 660 тыс. атм. экспериментально получил кубическую модификацию углерода с координационным числом = 8, предсказанную еще в 1962г. Банди, и названную металлической фазой углерода – углерод III.

### Диаграмма фазового состояния углерода.

Первые расчеты зависимости температуры равновесия для прямого превращения графита-алмаз от давления были выполнены Ф.Д. Россини и Р.С. Джессопом (1938) и О.И. Лейпунским (1939), которые не соответствовали экспериментальным данным для процессов прямого превращения, но неплохо описывали синтез алмаза из раствора в расплаве некоторых металлов.

Полная диаграмма фазового состояния углерода была составлена Ф.П. Банди (1962) на основании экспериментальных данных (рис. 2.5). Позже эта диаграмма неоднократно усовершенствовалась по мере появления новых данных.



1 – Область стабильных зародышей фазы графита  
1a – Область стабильных зародышей фазы графита + метастабильной фазы алмаза  
2 – Область стабильной фазы алмаза  
2a – Область стабильных зародышей фазы алмаза + метастабильной фазы зародышей графита  
3 – Гипотетическая фаза углерода в виде расплава  
4 – Гипотетическая металлическая фаза углерода

Предполагается, что область стабильной фазы лонсдейлита находится выше линии фазового равновесия графит-алмаз. Следует оговориться, что при подобных твердотельных превращениях линии равновесия представляют собой полосу (область), ширина которой зависит от многих факторов.

В свою очередь, карбины образуются при  $2600\text{K} < T < 3800\text{K}$  и  $4\text{ Па} < P < 6 \cdot 10^9\text{ Па}$ .

### 2.1.2. Химический состав. Химические свойства

Углерод, из которого состоит алмаз, в свою очередь состоит из нескольких изотопов, основными из которых являются  $C^{12}$  и  $C^{13}$ . Соотношение этих изотопов для большей части алмазов находится в довольно узком диапазоне  $C^{12}/C^{13} = 89,24 - 89,78$  [69,98,8,10]. В желтых алмазах II разновидности и в импактных алмазах (по классификации Ю.Л. Орлова) это отношение равно 89,96-90,75 [41], а в карбонате – 91,54-91,56 [8].

В состав реальных алмазов кроме углерода может входить большое количество элементов-примесей: N, H, O, Ni, Si, Al, Ca, Mg, Mn, Na, Ba, Cu, Fe, B, Sr, Ti, Cr, Co, Zr, P, Sc, La, Lu, Pt, Ag, Au, Pb, Zn, Ru, Cl, Eu, Jr, U и др. [81].

Исследования химических свойств алмаза представляют интерес как для понимания процессов генезиса, так и для разработки новых методов синтеза алмаза.

Алмаз при обычных температурах химически инертен. Кислоты, даже самые сильные, на него не действуют. При высоких температурах алмаз приобретает химическую активность. При нагревании в смеси серной кислоты и двухромовокислого калия алмаз окисляется до углекислоты. В расплавах соды, натриевой и калиевой селитры алмаз при нагревании растворяется. Частично растворяется алмаз при температуре  $800^\circ\text{C}$  в некоторых металлах (железо, никель и их сплавы) [28].

Интересна реакция алмаза с кислородом при высоких температурах [38]. Хорошо известно, что алмазы сгорают в струе кислорода при  $720^\circ\text{C}$ , а на воздухе при  $850^\circ\text{C}$ . При нагревании алмазов до  $1500^\circ\text{C}$  в вакууме они покрываются черной графитовой пленкой, которая легко удаляется при промывке в кислоте. Эта тонкая пленка образуется из-за присутствия в среде остаточного кислорода. При более низком вакууме пленка образуется более толстая.

Если говорить о процессе растворения алмаза, то первый возникающий вопрос: что это – физическое растворение или сложная химическая реакция? В работе [47] показано, что алмаз не способен к физическому растворению в расплавах силикатов, карбонатов и гидроксидов до температуры  $1000^\circ\text{C}$  и «растворение» алмаза происходит только в результате его

окисления (в природных условиях наиболее вероятные окислители – вода и диоксид углерода), причем процесс этот катализитический и в качестве катализаторов выступают ионы металлов.

При воздействии на алмаз различных окислителей в присутствии катализатора происходит постепенное изменение формы кристалла и его поверхности. Наиболее распространенным видом скульптур, образующихся на гранях {111} при окислении алмаза в различных условиях являются положительно ориентированные (параллельно ребрам октаэдра) треугольные впадины [38]. Природа окислителя и катализатора сильно влияет на вид этих скульптур, значительно меньшее значение имеет температура. Например, при окислении алмаза водяным паром в среде KOH образуются крупные четко ограненные неглубокие треугольные впадины с плоским дном. А при окислении алмаза диоксидом углерода в отсутствие катализатора или в среде гидроксидов и карбонатов натрия и калия происходит образование большого числа мелких глубоких треугольных впадин сплошь покрывающих поверхность кристалла. При окислении алмаза оксидом азота образуются глубокие треугольные впадины в виде отрицательных пирамид с гладкими стенками и острой вершиной.

При окислении додекаэдроидов отмечается образование дискообразных скульптур, каверн и округлых ямок. На кристаллах кубической формы при окислении развиваются четырехугольные впадины, а также бесформенные каверны и кружевообразные выступы [47]. Что касается изменения габитуса кристаллов алмаза при окислении, то в некоторых случаях при воздействии диоксида углерода и оксида азота на кристаллах октаэдрической формы появлялись участки граней тригонтриоктаэдра в виде перпендикулярно исщипованных полосок. При длительном окислении алмаза водяным паром в присутствии катализаторов, вызывающих послойное удаление алмазного вещества отмечается постепенный переход плоскограных форм в кривогранные.

Алмазы не смачиваются водой (гидрофобны), но прилипают к жиру. Это их свойство используется при обогащении руды, содержащей алмазы. Эффективность прилипания к жиру зависит от физико-химических свойств поверхности частиц алмазов, физико-химических и механических свойств применяемого жирового покрытия. Алмазы могут иметь разную смачиваемость в зависимости от природных свойств, а также от изменения этих свойств в процессе добычи и обработки. Если частицы алмаза недостаточно гидрофобны, их обрабатывают реагентами – собираителями. При нанесении реагентов на влажные алмазы происходит разрыв гидратных пленок, находящихся на поверхности алмаза и вытеснение их реагентами. Прилипание алмазов к жировым покрытиям зависит, кроме того, от силы ударов частиц о поверхность жира и быстроты выведения прилипших частиц из сферы действия смывного потока воды.

## 2.2. Структура алмаза

### 2.2.1. Общие понятия кристаллографии

**Кристаллами** называют твердые тела с упорядоченным внутренним строением на уровне атомов и молекул, т.е. тела, обладающие трехмерно-периодической пространственной структурой и имеющие вследствие этого при определенных условиях образования – форму многогранников [15].

Наиболее общими макроскопическими свойствами кристаллов являются: **однородность, анизотропия и симметрия**.

**Однородность** определяется взаимодействием слагающих структуру кристалла атомов, образующих пространственную решетку.

Симметричным кристалл является только в том случае, если в результате **симметричного преобразования** – поворота или (и) отражения – он совместился сам с собой. Геометрические образы (плоскости, прямые линии, точки), с помощью которых реализуются эти симметричные преобразования, называются **элементами симметрии**.

**Пространственная решетка** – это геометрический образ, отражающий трехмерную периодичность распределения атомов в структуре кристалла (рис. 2.6).

В пространственной решетке атомы находятся на определенном расстоянии друг от друга и образуют **узловой ряд** (рис. 2.7), пересекающиеся узловые ряды **узловую плоскую сетку** (рис. 2.8).

**Грань** кристалла (рис. 2.9) можно рассматривать как материализованную плоскую сетку, а **ребро** – как материализованный узловой ряд.

Грань кристаллов соответствует плоским сеткам с наибольшей плотностью расположения в них узлов (**ретикулярной плотностью**). Ребра кристаллов (рис. 2.9) определяются наиболее плотными узловыми рядами.

Для каждого вещества взаимное расположение узловых рядов и сеток пространственной решетки, а следовательно, граней и ребер кристалла, постоянно. Именно такое строение кристаллов определяет важнейшие их характеристики и свойства, такие как: способность самоограняться, симметрию, твердость и др.

**Анизотропия** – это способность кристаллов проявлять в разных направлениях разные свойства (твердость, спайность, показатели преломления, теплопроводность и др.).

**Симметрия** – повторяемость одинаковых фигур или их частей в пространстве.

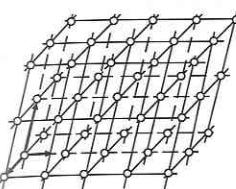


Рис. 2.6. Пространственная решетка



Рис. 2.7. Узловой ряд

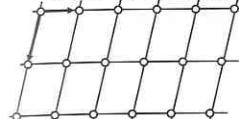


Рис. 2.8. Узловая плоская сетка



Рис. 2.9. Кристалл

К элементам симметрии относятся простые элементы симметрии I ряда: поворотные оси симметрии, зеркальные плоскости симметрии, центры инверсии, а также сложные элементы симметрии II ряда: зеркально-поворотные и инверсионные оси симметрии.

Поворотная ось симметрии ( $L_n$ ) – это прямая, при повороте вокруг которой на определенный угол фигура (кристалл) совмещается сама с собой. Угол, при котором осуществляется такое совмещение, называется углом поворота оси симметрии и обозначается « $\alpha$ ». Он определяет порядок оси симметрии –  $n$ , равный числу совмещений при повороте на  $360^\circ$ , то есть  $n = \frac{360^\circ}{\alpha}$ .

**Основной закон симметрии кристаллов** состоит в том, что в кристаллах возможны только оси симметрии 1, 2, 3, 4 и 6-ого порядка (невозможны оси 5-ого и выше 6-ого порядков).

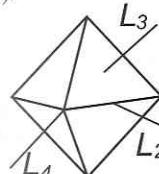


Рис. 2.10. Оси симметрии

$L_1$  – ось первого порядка,  $\alpha = 360^\circ$

$L_2$  – ось второго порядка,  $\alpha = 180^\circ$

$L_3$  – ось третьего порядка,  $\alpha = 120^\circ$

$L_4$  – ось четвертого порядка,  $\alpha = 90^\circ$

$L_6$  – ось шестого порядка,  $\alpha = 60^\circ$

Оси симметрии могут выходить на центрах граней, середине ребер и в вершинах (рис. 2.10)

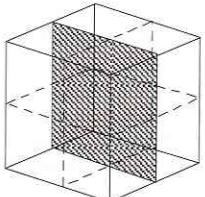


Рис. 2.11. Зеркальная плоскость симметрии

**Зеркальная плоскость симметрии (P)** – это плоскость, которая делит фигуру (кристалл) на две зеркально равные части. Максимально возможное количество плоскостей в кристалле – 9 (рис. 2.11).

**Центр инверсии** (или точка симметрии) – это точка, отражающаяся в которой, правая часть фигуры (кристалла) переходит в левую, при этом как бы переворачиваясь. В кристаллах, имеющих центр инверсии, каждая грань кристалла имеет равную и параллельную ей грань.

**Зеркально-поворотной** (или просто зеркальной) осью симметрии ( $\Phi_{\text{п}}$ ), называют ось, поворот вокруг которой сопровождается отражением в перпендикулярной к ней плоскости.

**Инверсионной осью симметрии** ( $\text{Ln}$ ) называют ось, при повороте вокруг которой наблюдается отражение в точке симметрии, расположенной на этой оси, то есть инверсия.

Совокупность всех элементов симметрии определяет **класс симметрии** кристалла. Существует тридцать два класса симметрии, которые подразделяются на семь групп – **сингонии** (или кристаллографических систем). Сингония объединяет классы симметрии с принципиально сходным набором элементов симметрии.

Кристаллы разных сингоний разделены на три категории:

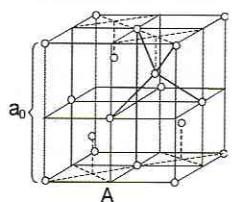


Рис. 2.12. Элементарная ячейка алмаза

Каждая элементарная ячейка характеризуется своими параметрами (величиной  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и углами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ).

Для описания геометрического характера структуры кристалла используются: координационное число (КЧ), координационный многогранник (КМ) или координационный полиэдр (КП), число формульных единиц (Z).

**Координационным числом (КЧ)** называют число ближайших к данному атому (или иону) соседних атомов (или ионов) в структуре кристалла (рис. 2.13)

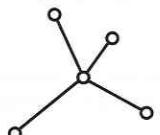


Рис. 2.13. Координационное число алмаза

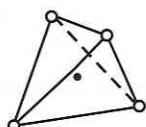


Рис. 2.14. Координационный многогранник

-к **высшей категории** относятся кристаллы кубической сингонии;

-к **средней категории** относятся кристаллы гексагональной, тетрагональной и тригональной сингоний;

-к **низшей категории** отнесены кристаллы ромбической, моноклинной и триклинной сингоний.

Характеристическая ячейка – минимальный параллелепипед, подчиненный кристаллографической координатной системе и наиболее плотно отражающая все особенности трехмерной решетки, носит название **элементарной ячейки**, или ячейки Браве.

**Металлическая связь** характерна для Cu, Mg, Fe и интерметаллов. Она осуществляется за счет взаимодействия положительно заряженных атомных ядер и свободных электронов.

**Ионная связь** возникает между различными по свойствам атомами и осуществляется силами электростатического взаимодействия между катионами и анионами, равномерно расположеными в кристаллической структуре (например NaCl, CaF<sub>2</sub> и др.).

**Ковалентная связь** (гомоэополярная) возникает между одинаковыми или близкими по свойствам атомами и осуществляется с помощью обществленных (принадлежащих одновременно двум атомам) пар электронов с противоположно направленными спинами – поделенной пары электронов – при наличии области перекрывания атомных орбиталей. При этом каждый из атомов приобретает стабильную конфигурацию благородно-газовых элементов [15]. Примером является структура алмаза.

**Ван-дер-ваальсовая связь** (остаточная или молекулярная) имеет место в структурах, состоящих из нейтральных изолированных или связанных в группы атомов молекул (например кристаллы инертно-газовых элементов Ar, Kr, Xe). Они возникают в результате разнозаряженных диполь-дипольных взаимодействий.

**Водородная связь** – образует атом водорода с двумя электроотрицательными атомами, такими как O, F, N, Cl.

По **геометрическому характеру** структуры делятся на координационные, островные, цепочки, слоистые и каркасные.

В **координационных структурах** атомы равномерно распределяются по всему кристаллическому пространству (NaCl, алмаз).

**Островные структуры** – состоят из отдельных группировок (часто молекул) (CaCO<sub>3</sub>).

**Цепочные структуры** – состоят из цепочек атомов или ионов (диопсид).

**Слоистые структуры** – состоят из валентно-насыщенных слоев (графит).

**Каркасные структуры** – состоят из трехмерных атомных группировок с достаточно большими пустотами (кристобалит).

## 2.2.2. Структура алмаза и дефектно-примесные центры в структуре алмаза

Алмаз имеет координационную структуру с ковалентной связью. Он кристаллизуется в кубической сингонии в гексоктаэдрической группе O<sub>h</sub><sup>7</sup> гоноэдрического пространственного класса Fd3m.

Элементарная ячейка алмаза представляет собой гранецентрированный куб, атомы углерода в котором находятся в вершинах куба и в центре его граней, а так же четыре дополнительных атома внутри его, в четырех из восьми октантов, полученных при пересечении плоскостей симметрии, проходящих через центр (рис. 2.12). Число атомов углерода (формульных единиц Z), приходящихся на одну элементарную ячейку, равно 8, координационное число КЧ=4. Расстояние между соседними атомами углерода 0,1542 нм ( $\pm 2\%$ ).

Координационный многогранник КМ – тетраэдр (рис. 2.14). Атомы углерода в структуре алмаза образуют четыре ковалентные связи под углом 109° 28' (направление их совпадает с осями L<sub>3</sub> тетраэдра), значение постоянной решетки алмаза  $a_0 = 0,357$  нм.

Формула симметрии: 3L<sub>4</sub>4L<sub>3</sub>6L<sub>2</sub>9PC.

### Дефектно-примесные центры

Известно, что примеси играют важную роль в образовании дефектных центров в кристаллах. Алмаз не является исключением. В его составе выявлено большое количество элементов-примесей. Основной примесью, входящей в состав многих дефектов является азот. По сравнению со всеми другими примесями структура дефектов, образуемых азотом и влияние их на свойства алмазов наилучше хорошо изучены. Наличие таких дефектов приводит к различиям в светопропускании природных алмазов, проявляющихся в дополнительном поглощении в области 0,225-30 мкм, некоторые из этих дефектов вызывают появление флюоресценции.

По происхождению дефекты классифицируются на примесные и собственные. Примесными дефектами могут быть отдельные атомы, несколько атомов, их объемные образования. К собственным (структурным) относятся вакансии в разных зарядовых состояниях, скопления вакансий, дислокационные дефекты (ростовые дислокации, дислокационные петли), дефекты упаковки, микродвойники и другие. Встречаются также сложные дефекты, представляющие собой комбинации примесных и структурных дефектов [52].

Изучение большого количества природных алмазов [2] из разных месторождений показало целесообразность разделения примесных дефектов, содержащих азот, на основные и дополнительные. К основным относятся наиболее часто встречающиеся дефекты, отличающиеся тем, что они могут существовать в кристаллической решетке алмаза самостоятельно, без сопровождения других дефектов. Дополнительные дефекты могут присутствовать в кристаллах только в сочетании с основными. К основным относятся дефекты А, В1 и С. Эти дефекты оптически активные, т.е. проявляются в спектрах поглощения или пропускания в оптическом диапазоне спектра и их можно также называть центрами.

**Дефект А.** Этот дефект проявляется только в поглощении: в спектре алмазов в инфракрасной (ИК) области центр А характеризуется системой полос 7,8; 8,3; 9,1 и 20,6 мкм (1282, 1215, 1100 и 484 см<sup>-1</sup>), из которых главный максимум – 7,8 мкм (1282 см<sup>-1</sup>); в ультрафиолетовой (УФ) области присутствие дефекта А приводит к поглощению, начинающемуся с ~320 нм, на фоне которого наблюдается ряд слабых линий: 315,2; 306,1 нм и др. (рис. 2.15).



Рис. 2.15. Спектр поглощения в УФ-видимой (а) и ИК-области (б) алмаза, содержащего только дефект А.

Исследуя алмазы методом газовой хроматографии, Кайзер и Бонд [82] в алмазах, содержащих преимущественно А-дефект, обнаружили азот, и таким образом, сомнений в участии атомов азота в образовании А-дефекта нет, но его модель до сих пор окончательно не установлена. Наиболее распространенным представлением об этом дефекте является его модель в виде двух атомов азота, замещающих соседние атомы углерода в решетке алмаза. Однако, такая модель не может считаться единственно правильной, некоторые исследователи считают, что это – многоатомное образование.

**Дефект В1.** Другим основным дефектом является дефект В1. В ИК-спектре алмазов дефект В1 проявляется в виде системы полос поглощения 7,5; 8,5; 9,1; 9,9 и 12,8 мкм (соответственно 1332, 1175, 1100, 1010 и 780 см<sup>-1</sup>). Отчетливый пик 1332 см<sup>-1</sup> совпадает с частотой рamanовского колебания. Наиболее сильной полосой в ИК-спектре дефекта В1 является полоса 8,5 мкм. В УФ-области дефект В1 проявляется в виде систем электронно-колебательных полос N9 и N10. Система N9 проявляется наиболее сильными полосами 236 и 230,8 нм. Система N10 состоит из слабых полос 248 и 240 нм. В поглощении обе системы хорошо прослеживаются только в алмазах с малым содержанием А дефекта. Интенсивности полос в системах N9 и N10 коррелируют между собой и с полосами В1 в ИК-спектре (рис. 2.16). В настоящее время принятая модель центра В1 в виде четырех атомов азота и вакансии (рис. 2.17).

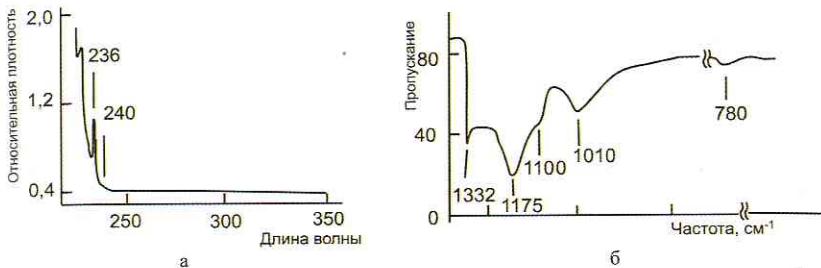


Рис. 2.16. Спектры поглощения в УФ- (а) и ИК-области (б) алмазов, содержащих только дефект В1.

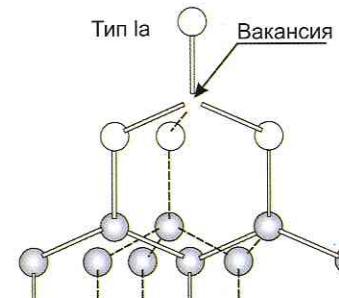


Рис. 2.17. Модель дефекта В1.

Ряд исследователей подвергает сомнению тот факт, что системы N9 и N10 относятся к одному дефекту. Основанием для этого послужило несоответствие концентраций, определенных для каждой из систем. Расчет концентрации дефектов по интегральной интенсивности полосы 236 нм и концентрация азота, определенная по формулам, приведенным выше, из ИК-измерений, отличаются более, чем на два порядка. Однако, это является противоречием, только в том случае, если дефект содержит малое количество атомов азота. В случае многоатомной модели дефекта В1 несоответствие устраняется.

Дефекты А и В1 не обладают парамагнитными свойствами.

**Дефект С.** Последний из основных примесных дефектов парамагнитен. На основании исследования спектров ЭПР некоторых разновидностей природных алмазов была предложена модель этого дефекта в виде одиночного атома азота, замещающего атом углерода в решетке алмаза (рис. 2.18).

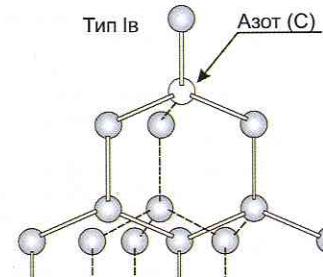


Рис. 2.18. Модель дефекта С

В ИК-спектре дефект С проявляется в виде ряда полос: 7,4; ~7,8; 8,8 и 9,1 мкм (1345, 1282-90, 1135 и 1100  $\text{cm}^{-1}$ ).

В УФ-видимой области С-дефект проявляется в виде слабой полосы около 270 нм, при увеличении концентрации дефекта С происходит смещение края поглощения в длинноволновую область вплоть до ~500 нм. Поглощение в видимой области придает алмазам, содержащим этот дефект, желтую, желто-зеленую окраску, при аномально высоких концентрациях дефекта С алмаз приобретает редкий фантазийный цвет – оранжевый [2, 84] (рис. 2.19).

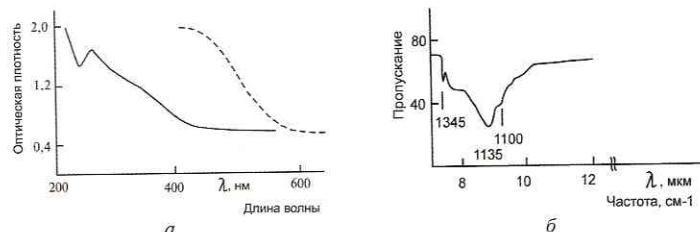


Рис. 2.19. Спектры поглощения в УФ-видимой (а) и ИК-областиах (б) алмазов, содержащих только дефект С.

Концентрация азота в виде С-дефекта в природных алмазах обычно не более  $10^{16} \text{ см}^{-3}$ , в некоторых разновидностях алмазов она достигает  $10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

В результате спектральных исследований, проводимых различными авторами было установлено, что каждому основному дефекту соответствуют определенные дополнительные (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Основные и дополнительные примесные дефекты в алмазах [2].

Основной дефект	Дополнительные дефекты
A	H3
B1	H4, S2
C	S1, 640 нм
A + B1	N3, B2, H3, H4, S2
A + C	S1, 440 нм, H3, N3

В таблице представлены самые распространенные дополнительные примесные дефекты, наблюдаемые в спектрах природных алмазов. Кроме дефектов B2 и N3 все дополнительные дефекты встречаются и в кристаллах чистого типа (содержащих один основной дефект), и в смешанных (содержат несколько основных дефектов).

**Дефект B2.** В ИК-области дефект B2 проявляется полосами поглощения с максимумами 7,3 и 7,0 мкм (1370 и 1430  $\text{cm}^{-1}$ ). Интенсивность полосы 1430  $\text{cm}^{-1}$  на порядок ниже интенсивности главной полосы – 1370  $\text{cm}^{-1}$ . Однако, если положение полосы 1430  $\text{cm}^{-1}$  постоянно, то положение максимума главной полосы может меняться от 1359  $\text{cm}^{-1}$  до 1380  $\text{cm}^{-1}$  в разных кристаллах, а иногда и в пределах одного кристалла в разных его зонах, но в меньшем диапазоне. В УФ-спектрах дефект B2 проявляется в виде ступенчатого края поглощения со слабо выраженным максимумом 263,2; 266,8; 280,0 и 283,4 нм (рис. 2.20).

При возбуждении светом с длиной волны 267, 295 и 284 нм алмазы, обогащенные дефектами B2, дают при температуре жидкого азота (80К) желтое свечение проявляющееся в спектре люминесценции в виде широкой бесструктурной полосы с максимумом 540-620 нм. Такое проявление дефекта B2 в спектрах обусловлено присутствием в алмазах пластинчатых образований (platelets), расположенных в плоскости {100}. На лаурграммах они проявляются экстраполексами в виде «шипов» вблизи основных рефлексов алмаза. Коэффициент поглощения дефекта B2, являющийся мерой содержания этого дефекта, пропорционален интен-

сивности этих «шипов». Ранее предполагалось, что почти весь примесный азот входит в состав этих пластинок, позже это было поставлено под сомнение и считается, что в них содержится не более 5-10% от общего количества азота.

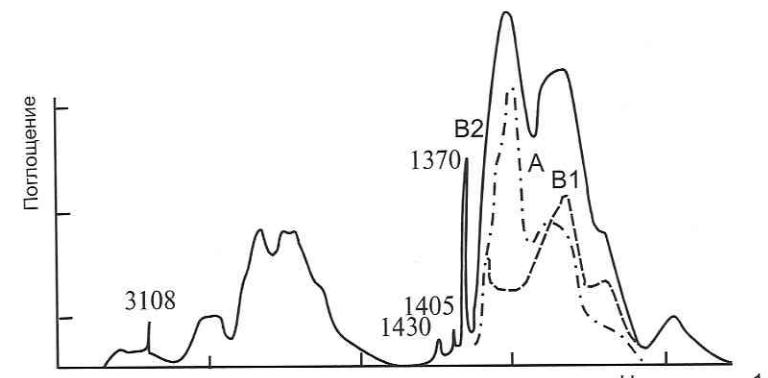


Рис. 2.20. Спектры поглощения в ИК-области алмазов, содержащих дефекты B2 и 3107  $\text{cm}^{-1}$  (полоса, связанная с присутствием водорода).

По данным наблюдений пластинчатых образований методом трансмиссионной электронной микроскопии Соболевым Е.В. с соавторами [50, 51] была построена зависимость между положением полосы 1370  $\text{cm}^{-1}$  и размером пластин. Ими установлено, что в алмазах с большим содержанием дефекта A интенсивность полосы B2 обычно невелика, положение ее смещено в область высоких частот, а полуширина увеличена и может достигать 25  $\text{cm}^{-1}$ . Следовательно, для таких алмазов характерен набор различающихся по размерам пластинчатых дефектов при средней их длине около 20 нм. В спектрах алмазов с сильными полосами B1 и относительно слабыми полосами A наблюдаются узкие интенсивные полосы B2 при этом частота ( $\nu$ ) составляет 1370  $\text{cm}^{-1}$ , которой соответствуют пластинки размером около 40 нм. Среди кристаллов с полосами B2, для которых  $\nu = 1360 \text{ cm}^{-1}$ , содержание дефектов A и B1 часто бывает пониженным. В таких алмазах размеры пластинок могут достигать 100 нм. В некоторых алмазах наблюдались (с помощью просвечивающей электронной микроскопии или селективного травления) гигантские пластинки размером до 5 мкм и более. Но так как концентрация их очень мала, в ИК-спектрах они не проявлялись. Все это свидетельствует о взаимосвязи дефекта B2 с основными дефектами A и B1. Можно предположить, что наличие определенного соотношения в содержаниях различных дефектов является следствием общности процессов их образования.

**Дефект N3.** Другим распространенным дефектом в алмазах, который обуславливает голубую фотолюминесценцию (ФЛ) и соломенно-желтую окраску, является дефект N3. Система N3 характерна только для природных алмазов. Она проявляется в УФ-видимой областях и имеет главную линию 415,2 нм (рис. 2.21).

Для этого дефекта характерна зеркальная симметричность спектров поглощения и фотолюминесценции. Дефект N3 параметричен. ЭПР-спектр этого дефекта состоит из 14-30 узких линий. Модель центра представляет собой «треугольник Митчелла»: три смежных атома углерода замещаются атомами азота, кроме азота в структуре этого центра присутствует вакансия (рис. 2.22).

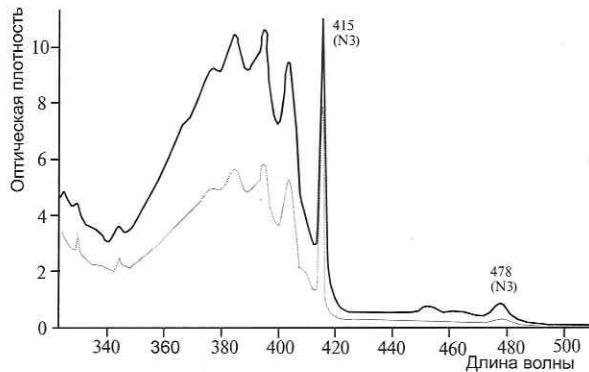


Рис. 2.21. Спектр поглощения алмазов, содержащих дефект N3.

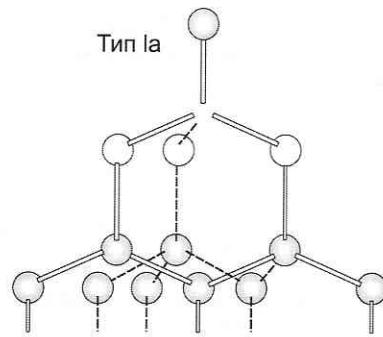


Рис. 2.22. Модель N3 центра.

Установлено, что на проявления центра N3 влияют другие присутствующие дефекты. Так при наличии высоких концентраций дефекта А происходит тушение голубой фотолюминесценции, связанной с присутствием дефекта N3. Установлена также корреляция между системой N3 в поглощении в УФ-области и линией  $1430\text{ cm}^{-1}$  в ИК-области спектра. Так как эту линию связывают с колебанием пластин B2 (platelets), то возможно, что система N3 непосредственно связана с дефектом B2.

**Дефект N3.** Известно, что зеленоватая окраска и желтая флюoresценция появляются в природных алмазах, содержащих азотные дефекты при облучении их электронами или нейтронами с последующим отжигом при  $T > 800\text{ K}$ . Системы полос в спектрах, ответственные за эти оптические эффекты обозначают N3 и H4. Образование этих дефектов в алмазах наблюдалось также в результате пластической деформации.

Дефект N3 возникает в алмазе только в том случае, если в кристалле присутствуют дефекты А, а дефект H4 – если имеется дефект B1. Центр N3 в спектре ФЛ проявляется в виде серии полос с главной линией 503,2 нм, к которой в спектре поглощения добавляется слабая линия 474 нм. С ростом концентрации дефекта А свечение центра N3 тушится. Модель этого дефекта, предложенная многими авторами – два атома азота и две вакансии, расположенные по разные стороны от пары атомов азота (рис. 2.23).

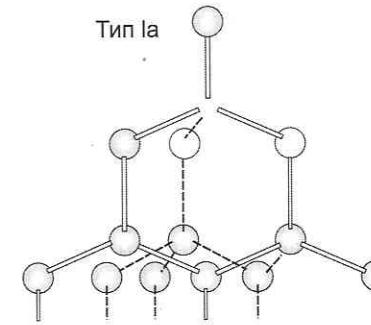


Рис. 2.23. Модель центра N3

**Дефект H4.** По проявлению в спектрах (в УФ-видимой области и флюoresценции) дефекты N3 и H4 очень близки. В спектре ФЛ дефекта H4 главная линия 495,8 нм лишь незначительно смещена в коротковолновую область по отношению к линии системы N3. Было установлено, что этот дефект формируется после облучения частицами высоких энергий алмазов, содержащих дефект B1. На основании этого некоторые авторы предлагают его модель в виде комплекса из дефекта B1 или его фрагмента и вакансий. Другие полагают, что дефект H4, как и N3, состоит из двух атомов азота и двух вакансий, но взаимное расположение атомов азота и вакансий иное: вакансии расположены по одну сторону от пары атомов азота (рис. 2.24).

Нужно отметить, что по оценке Дэвиса [2] в состав дефектов N3 и H4 входит лишь около 0,1 % от общего количества азота в данном кристалле.

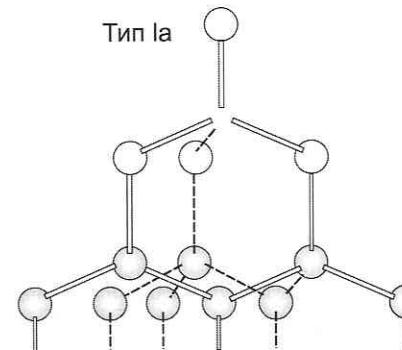


Рис. 2.24. Модель H4 центра

**Дефект S2.** В спектре поглощения S2 не проявляется, а при фотовозбуждении дает желто-зеленое свечение. В спектрах ФЛ отчетливо прослеживаются три системы полос с главными линиями 523,3; 489,1 и 477,6 нм. Природные алмазы, в спектрах ФЛ которых имеется система S2, обязательно содержат дефекты B1. С ростом концентрации B1 дефекта свечение тушится. Природа дефекта S2 не ясна. Предполагается, что это сложный дефект, в состав которого входит фрагмент N – V – N.

**Дефект S1.** Этот центр парамагнитен и наблюдается только в алмазах, содержащих дефект С. Желтая ФЛ, обусловленная наличием этого дефекта, характеризуется наличием двух главных линий 503,4 и 510,7 нм. Исследования спектра ЭПР позволили предположить мо-

дель S1 центра в виде N – V, причем атом азота находится в одной из вершин октанта элементарной ячейки, а вакансия – в центре октанта.

Кроме перечисленных выше имеется еще целый ряд дефектов (440 нм, 640 нм, ND, N<sub>2</sub>D и др.) в состав которых входит азот. Кроме них имеется еще ряд дефектов, в состав которых азот не входит.

**Дефекты 1405 и 3107 см<sup>-1</sup>.** Этот дефект проявляется в ИК-спектрах поглощения в виде полос 1405 и 3107 см<sup>-1</sup> (рис. 2.18).

Он часто встречается в алмазах с преобладанием B1 дефекта, а также в спектрах кубических секторов кристаллов с ясно выраженным секториальным строением. Е. В. Соболев и другие авторы относят эти линии к колебаниям группы CH.

**Дефект B<sup>3+</sup>.** Наличие бора в природных алмазах установлено с помощью нейтронно-активационного анализа (рис. 2.25). Установлено также, что именно примесь бора вызывает появление полупроводниковых свойств в алмазе (полупроводимость р-типа).

В ИК-спектрах поглощения таких алмазов имеются характерные линии 2460, 2810 и 2936 см<sup>-1</sup> (рис. 2.26).

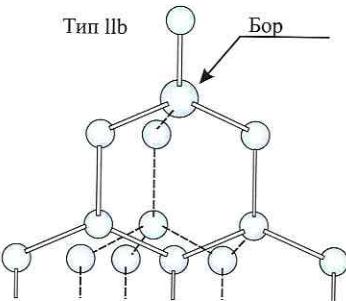


Рис. 2.25. Модель дефекта B<sup>3+</sup>

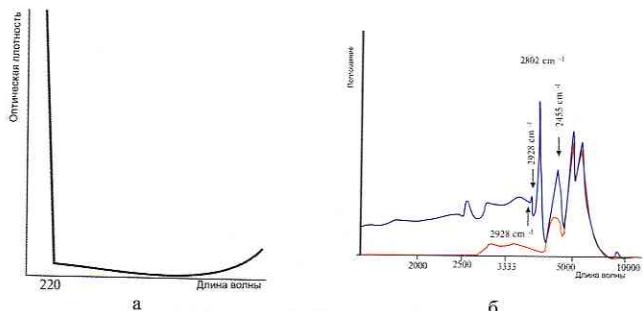


Рис. 2.26. Спектр поглощения в УФ-видимой (а) и ИК-областих (б) алмазов, содержащих бор.

В спектрах поглощения в ВО наблюдается уменьшение поглощения в сторону коротких волн, которое приводит к появлению голубой окраски. В природных алмазах концентрация бора достигает  $\sim 5 \times 10^{17}$  см<sup>-3</sup>, при искусственном допировании алмазов бором могут быть получены значительно более высокие концентрации. В этом случае окраска будет не голубой, а фиолетовой.

Выше были рассмотрены некоторые типы примесных дефектов, т.е. дефектов, содержащих посторонние атомы. Кроме них имеются собственные дефекты решетки, возникающие при радиоактивном облучении, нагреве или пластической деформации. Такие дефекты могут

появиться в природных условиях во время роста кристалла алмаза или в постростовой период, а также могут быть созданы искусственно.

**Дефекты GR.** Образуются при облучении любого типа алмаза частицами высокой энергии. При этом алмаз, если он был бесцветным, окрашивается в голубовато-зеленый цвет. Если у алмаза имелся заметный желтый оттенок, окраска может стать желтовато-зеленой. В голубовато-зеленый цвет окрашены и пятна пигментации, которые могут присутствовать на алмазах. Интенсивность окраски зависит от дозы облучения. В спектре поглощения в ВО дефекты, появившиеся при облучении проявляются в виде систем GR1 – GR8 с широкой полосой вблизи 620 нм и двумя главными линиями 744,5 и 741 нм (рис. 2.27).

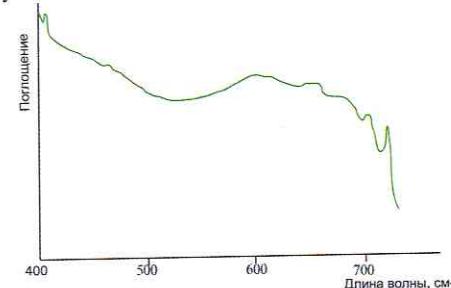


Рис. 2.27. Спектр поглощения в видимой области алмаза, содержащего дефект GR1.

Интенсивность систем GR не коррелирует с содержанием примеси азота. Это и ряд других особенностей, отмеченных многими исследователями, дало основания полагать, что дефект, возникающий в алмазах при облучении, является вакансий.

**Дефект 578 нм.** Этот дефект, выделенный недавно [45], встречается только в природных алмазах и характеризуется оранжевой ФЛ, спектр которой представляет собой широкую интенсивную полосу с максимумом 630-640 нм и головной линией 578 нм. Этот дефект чаще всего наблюдается в спектрах ФЛ алмазов IX разновидности и алмазов с пониженной концентрацией азота. Предположительно он является собственным структурным дефектом [46].

**Дислокации.** Прямые наблюдения дефектов кристаллической структуры алмаза методами трансмиссионной электронной микроскопии в сочетании с данными рентгеновской топографии, селективного травления позволяет установить присутствие практически во всех кристаллах небольших количеств дислокаций, большая часть которых располагается в виде пучков, расходящихся от центра кристалла (иногда от включений) к его поверхности. Это – дислокации роста, скорее всего декорированные примесями. Линии таких дислокаций часто имеют четко выраженный излом при переходе границ слоев роста. Это, возможно, обусловлено зарождением дислокаций нового ростового слоя на выходах дислокаций предыдущего. Плотность дислокаций (в основном ростовых) наиболее высока в алмазах блочного строения, к которым относятся безазотные алмазы. Их плотность в таких алмазах достигает  $10^7$  см<sup>-2</sup> ( $10^2$  –  $10^3$  см<sup>-2</sup> в алмазах высокого качества). У алмазов со следами пластической деформации в виде линий скольжения на поверхности и с полосчатым узором двупреломления с интерференционной окраской II порядка плотность дислокаций достигает  $10^{10}$  см<sup>-2</sup> и более. Такие алмазы обычно окрашены в дымчато-коричневый цвет. В ВО их спектра монотонно растет поглощение в сторону коротких длин волн. В спектре ФЛ таких алмазов наблюдается широкая бесструктурная полоса с максимумом 730 нм, на коротковолновом краю этой полосы как спутники появляются системы полос N3, H3, H4 и др. [84]. Отдельные дислокации можно наблюдать в катодолюминесценции при увеличении не менее 300х. В этом случае видны линейные дефекты с голубым свечением, ориентированные по <110>. Другое по цвету свечение связано с линиями скольжения в алмазе и с границами между секторами роста в кристалле, отличающимися механизмом роста. На фоне голубого свечения эти дефекты дают желто-зеленое свечение, соответствующее системе H3.

### 2.2.3. Физическая классификация алмазов

Робертсон, Фокс и Мартин [91] предложили классифицировать алмазы по совокупности ряда физических свойств и, прежде всего, по спектрам поглощения в оптическом диапазоне на два типа I и II. Вариации в физических свойствах этих типов алмазов пытались объяснить различными способами. Первая попытка такого объяснения основывалась на предположении о существовании четырех структурных модификаций алмаза, две из которых относятся к октаздрическому классу симметрии, а две – к тетраэдрическому. Различные срастания этих модификаций обуславливали появление алмазов, отличающихся по свойствам. Позже была предложена другая точка зрения, согласно которой различия в спектрах поглощения связаны с наличием или отсутствием примесей в алмазе. К типу I отнесли алмазы, содержащие примеси, а к типу II – не содержащие. Позднее это было подтверждено Кайзером и Бондом, обнаружившими структурные примеси азота в алмазах типа I [82]. Кастерс подразделил алмазы типа II на тип IIa и тип IIb. Последние обладали голубой окраской, электропроводностью и фосфоресценцией. После обнаружения в некоторых природных алмазах парамагнитного центра, в состав которого входил атом азота, был выделен тип Ib. Все остальные алмазы, содержащие азот, вошли в состав типа Ia. Таким образом, физическая классификация алмазов выглядит следующим образом: алмазы с примесями азота – типы Ia и Ib, алмазы с пониженным содержанием азота – тип IIa и полупроводниковые алмазы – тип IIb (рис. 2.28). Клюев Ю.А. с соавторами [2,25] отнес к типу Ia алмазы, содержащие дефект A, а к типу Ib – содержащие дефект C (как это указывалось ранее). Кроме того, им был выделен еще один тип азот-содержащих алмазов – III, который характеризуется присутствием дефекта B1 (табл. 2.2).

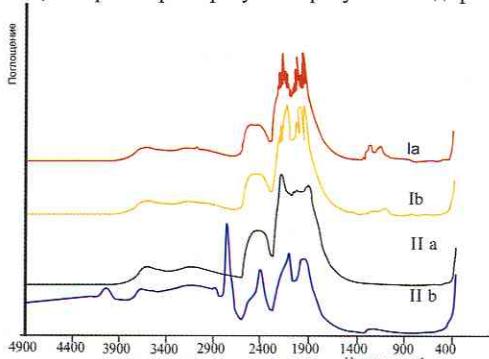


Рис. 2.28. Спектры поглощения в ИК-диапазоне алмазов «чистых» типов.

В соответствии с этой классификацией в алмазах типа Ia содержатся дефекты A и B1 со всеми дополнительными дефектами, а среди природных алмазов, аттестованных как тип Ib, могут встречаться алмазы, содержащие C и A дефекты. Что касается алмазов в оболочке (IV разновидность), то здесь в наличии будет весь спектр дефектов, т.к. оболочка и ядро сами по себе должны быть отнесены к разным типам. Все это послужило основанием для уточнения физической классификации алмазов, которое выразилось в том, что каждый из типов определяется наличием в структуре только одного основного дефекта [23, 24].

Все природные алмазы можно разделить на чистые типы (каждый содержит только один тип дефекта) и смешанные, к которым относится подавляющее большинство алмазов (до 99%). Т. к. алмазы смешанного типа содержат несколько центров, то их обозначают как Ia + III, III + Ia, Ia + Ib в зависимости от преобладающего содержания дефекта A, C или B1. Спектральные свойства алмазов смешанного типа определяются совокупностью свойств, обусловленных наличием конкретных основных и дополнительных дефектов.

Природные алмазы «чистых» типов очень редки. Особенно редки алмазы чистых Ia и Ib типов. Это объясняется тем, что дефекты C и A в природных условиях трансформируются в более стабильные азотные дефекты. Легче всего обнаружить кристаллы алмаза типа III.

Табл. 2.2. Физическая классификация алмазов и характерные особенности спектров поглощения алмазов чистых типов.

Тип алмазов	Дефект	$\lambda_{\text{ср}}(\text{УФ})$ , нм	$\lambda$ (ИК), мкм
Ia	A	$\leq 320$	7,8; 8,3; 9,1; 20,8
Ib	C	$< 500+275$	7,4; 7,8; 8,8; 9,1
III	B1	$\approx 225+N9+N10$	7,5; 8,5; 9,1; 9,9, 12,8
IIa	-	$\approx 225$	-
IIb	p	-	-

Примечание. p – акцептор (в природных алмазах акцептором является атом бора).

### 2.3. Кристалломорфология алмаза

#### 2.3.1. Простые формы и комбинации. Двойники и сростки

Симметрия кристалла является важнейшей его характеристикой. Она всегда соответствует симметрии кристалла, его точечной группе (классу) симметрий.

«Совокупность граней, взаимосвязанных всеми симметрическими операциями точечной группы (класса) симметрий, называют простой формой кристалла» [15].

Грани одной простой формы кристалла связаны друг с другом элементами симметрии, равны, имеют одну и ту же геометрическую форму, а также физические и химические свойства.

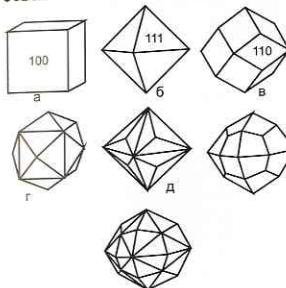


Рис. 2.29. Простые формы кристаллов гексаэдрического класса кубической сингонии: а – куб; б – октаэдр; в – ромбододекаэдр; г – тетрагексаэдр; д – тригон-триоктаэдр; е – тетрагон-триоктаэдр; ж – гексаоктаэдр.

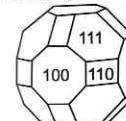


Рис. 2.30. Кристалл комбинационной формы с гранями октаэдра (111), куба (100) и ромбододекаэдра (110).

Термин габитус используют для детальной характеристики внешней формы кристаллов, для отражения степени развития тех или иных простых форм (например: призматический, кубический, бипирамидальный и т.д.).

Термин облик используют для описания внешнего вида кристаллов, например: изометричный, столбчатый, нитевидный, таблитчатый и т.д.

Простые формы бывают закрытыми (если совокупность граней одной простой формы полностью замыкают заключенное между ними пространство; например, куб) или открытыми (если не замыкает, например, призма). Простые формы кристаллов кубической сингонии являются закрытыми. В кристаллах средней и низшей категорий сингоний помимо закрытых встречаются и открытые простые формы. Для кристаллов гексаоктаэдрического класса кубической сингонии, к которому относится алмаз, характерны простые формы: куб (гексаэдр), октаэдр, ромбододекаэдр, тетрагексаэдр, тригон-триоктаэдр, гексаоктаэдр (рис. 2.29).

В огранке кристаллов могут участвовать грани либо одной, либо нескольких простых форм, образующих комбинационные многогранники (рис. 2.30).

Помимо монокристаллов встречаются также параллельные сростки, двойники срастания и прорастания, сферокристаллы, сферолиты и незакономерные сростки.



Рис. 2.31. Параллельный сросток кубических кристаллов алмаза III разновидности

**Параллельные сростки** образуются двумя или несколькими одинаково кристаллографически ориентированными индивидами (рис. 2.31)

**Двойником срастания** называется закономерный сросток двух кристаллов, в котором **плоскость срастания** принадлежит обаим индивидам (рис. 2.19а), при этом один из индивидов является зеркальным отражением другого или получен из другого при его повороте вокруг **двойниковой оси** на 180°.

**Двойник прорастания** (рис. 2.32б) – это закономерный сросток двух кристаллов, в котором «индивиды как бы взаимно проникают друг в друга» [32].

В зависимости от числа двойникующихся элементов могут образовываться тройники и т.д. Если двойникующие элементы симметрии параллельны, имеют место **циклические двойники** (рис. 2.32в) [1].

Для алмаза характерны двойники по **шпинелевому закону**, в которых двойникующим элементом симметрии является плоскость октаэдра (111) или ось 2<sub>(111)</sub> (рис. 2.32а).

Образование **сферокристаллов** (рис. 2.33) связано с расщеплением во время роста монокристаллов. Радиально-лучистые агрегаты – **сферолиты** состоят из многочисленных индивидов – кристаллов (рис. 2.34).

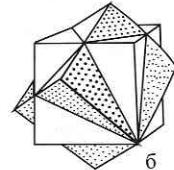
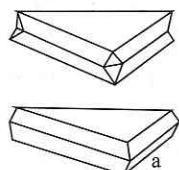


Рис. 2.32. Двойники: а - двойник срастания сильно уплощенных по L<sub>3</sub> октаэдрических кристаллов алмаза, б - двойник прорастания кубических кристаллов алмаза, в - циклический двойник алмаза

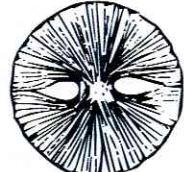
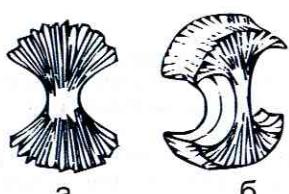


Рис. 2.33. Сферокристаллы

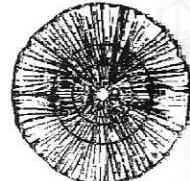


Рис. 2.34. Сферолит

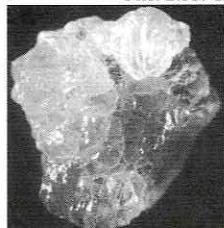


Рис. 2.35. Незакономерные сростки алмаза (VIII разновидность)

**Незакономерные сростки** – это агрегаты с различной ориентировкой отдельных составляющих их индивидов. В зависимости от размера составляющих индивидов выделяются яснокристаллические (крупно-, средне-, мелкозернистые), тонко- и скрытокристаллические (рис. 2.35).

### 2.3.2. Разновидности кристаллов и поликристаллических образований алмаза

Алмаз по своим формам нахождения в природе очень разнообразен. Он встречается в виде монокристаллов и различных поликристаллических образований [38, 49, 19, 23, 61]. Монокристаллы отличаются не только и не столько многообразием простых форм и комбинаций, сколько наличием как плоскогранных, так и плоскогранно-кривограных и кривограных кристаллов, изометрических и в различной степени деформированных, различным характером поверхности кристаллов, их внутренним строением и физическими свойствами. Это многообразие определило появление различных классификаций: морфологических, морфогенетических, минералогических, физических и т.д. (А.Е. Ферсман [66], Н.А. Бобков, М.А. Гневушев, З.В. Бартошинский, Ю.Л. Орлов, А.Ф. Williams, Y. Harris, J. Sunagawa [94], R. Robertson J.J. Fox, A.E. Martin [91], Ю.А. Клоев, А.М. Налетов, В.И. Непша [2] и др.).

**Минералогическая классификация алмазов Ю.Л. Орлова.** В основу минералогической классификации Ю.Л. Орлова [38] положены форма роста, внутреннее строение и физические свойства алмаза, обусловленные условиями его образования.

Выделены пять разновидностей монокристаллов и пять (а позже и шестая) разновидностей поликристаллических образований.



Рис. 2.36. Алмазы I разновидности октаэдрической формы с микрослоистостью



Рис. 2.37. Алмазы II разновидности кубической формы

**I разновидность** (рис. 2.36) – форма роста – октаэдр. Визуально однородные. Бесцветные, с различными оттенками, цветные. Люминесценция в УФ-лучах голубая, желтая, зеленая и др.

В большинстве кимберлитовых трубок и связанных с ними россыпей алмазы I разновидности преобладают.

**II разновидность** форма роста – куб (рис. 2.37). Визуально однородны. Цвет – желтый, оранжевый высокой насыщенности. Люминесценция в УФ-лучах желтая.

В трубках встречаются не всегда и в малых количествах. Значительное количество отмечается в анабарских россыпях [31].

**III разновидность** (рис. 2.38) – встречаются в виде кристаллов кубической и комбинационной формы с гранями куба, октаэдра и поверхностями, соответствующими граням ромбододекаэдра. Кристаллы имеют секториальное строение [59, 40] (рис. 2.39).

Непрозрачны, просвечиваются в тонких сколах полупрозрачны. Цвет серый до черного. Может наблюдаться люминесценция в УФ-лучах слабая желто-зеленая. Встречается в кимберлитовых трубках Айхал, Удачна, Юбилейная и др.

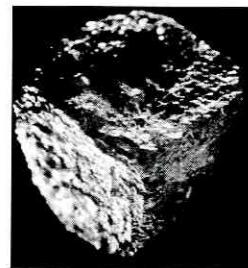


Рис. 2.38. Алмазы III разновидности

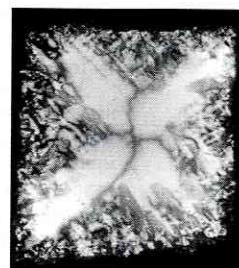


Рис. 2.39. Внутреннее строение алмазов III разновидности (в поляризованном свете при скрещенных николях)

**IV разновидность** (рис. 2.40) – «алмазы в оболочке» (coated diamonds) или «алмазы в руашке». Зональные кристаллы с прозрачным бесцветным ядром и полупрозрачной, просвечивающей, непрозрачной оболочкой желтого, желто-зеленого, серовато-желтого цвета (рис. 2.41). Прозрачность и окраска кристалла с ненарушенной оболочкой определяется характером последней.

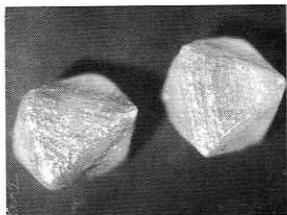


Рис. 2.40. Алмазы IV разновидности

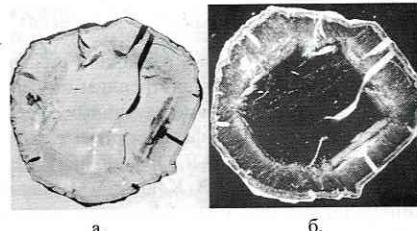


Рис. 2.41. Внутреннее строение алмазов IV разновидности в проходящем (а) и отраженном (б) свете

Оболочка в УФ-лучах, как правило, не люминесцирует; ядро может люминесцировать, в основном голубым цветом.

Алмазы IV разновидности встречаются в различных количествах (от долей процента до 10%) в ряде кимберлитовых трубок Якутии, а в россыпях Сьерра-Леоне, содержание алмазов IV разновидности может достигать 30-40% [38].

**V разновидность** – форма роста – октаэдр (рис. 2.42). Цвет серый, черный, обусловленный большим количеством черных включений (рис. 2.43), расположенных в зонах различнойтолпини, периферических, промежуточных или даже занимающих значительную часть объема кристалла (как в ряде алмазов из месторождения Эбелях, Якутия).



Рис. 2.42. Алмазы V разновидности



Рис. 2.43. Внутреннее строение алмаза V разновидности

В УФ-лучах кристаллы, как правило, не люминесцируют, но вокруг включений часто наблюдается пятнистое, в виде отдельных точек, красное, желтое, зеленое свечение.

Некоторое количество алмазов этой разновидности отмечается в большинстве месторождений, но в ряде месторождений (например, Эбелях) оно значительно возрастает.



Рис. 2.44. Алмазы VI разновидности

**VI разновидность** (баллас) (рис. 2.44) – сферолиты, имеющие радиально-лучистое строение. Форма – шаровидная, каплевидная, грушевидная. Размер – обычно несколько миллиметров (в диаметре); толщина кристаллитов десятки мкм, длина соответствует диаметру образования; известны находки до 139 – 372,3 мг.

На поверхности образований обычно наблюдается характерная скульптура, связанная с выходом торцов кристаллитов.

Алмазы иногда в какой-то степени просвечивают. Матовые и блестящие. От бесцветных до черных, а так же серые, зеленовато-серые, белые, янтарно-желтые. Встречаются обычно в древних россыпях [34].

**VII разновидность.** Поликристаллические, яснокристаллические неправильной формы образования алмазов октаэдрического габитуса. Цвет образований серый, в связи с большим количеством черных включений, желтовато-серый.

**VIII разновидность** (рис. 2.35). Поликристаллические яснокристаллические образования. Рыхлые или очень плотные агрегаты, представляющие собой монолитные желваки со сложной конфигурацией. Форма индивидуумов, слагающих агрегат, различна, аналогична форме нахождения кристаллов I разновидности. Относительные размеры отдельных кристаллов в сростках различны. Наблюдаются агрегаты как из равновеликих, так и разновеликих кристаллов.

Отдельные кристаллки, слагающие агрегаты, прозрачны и имеют окраску, аналогичную алмазам I разновидности. Часто в центре агрегата наблюдается скопление минералов черного цвета (сульфиды и др.).



Рис. 2.45. Алмазы IX разновидности



Рис. 2.46. Алмазы X разновидности (карбонадо)

**IX разновидность** (рис. 2.45) Мелкозернистые неправильной формы поликристаллические образования. Пористые или довольно плотные. Отдельные кристаллы, слагающие агрегат, редко различимы невооруженным глазом. Цвет черный, темно-серый из-за большого количества включений.

Алмазы VII – IX разновидности известны так же под названием «борт».

**X разновидность** (карбонадо). Представляет собой скрытоокристаллические образования округлой или неправильной формы (рис. 2.33). Иногда карбонадо наблюдается в форме округлой гальки или по своим очертаниям напоминает бобы.

Карбонадо состоит из разупорядоченных кристаллитов размером 5-10 мкм, иногда от 1 до 40 мкм.

Алмазы непрозрачны. Поверхность камней бывает матовая, такие образцы напоминают шлак, или блестящая, эмалевидная, такие образцы напоминают кокс. Цвет темно-серый, коричневый, темно-фиолетовый, грязно-розовый.

**XI разновидность** – обнаружена новая поликристаллическая скрытоокристаллическая разновидность алмазов, которая носит название **импактных** или **ударно-взрывных** [33].

Они представляют собой неправильной формы или уплощенные обломки размером в доли миллиметра до миллиметра, иногда в россыпях встречаются более крупные выделения до 3-5мм. Часто в этих агрегатах наблюдается слоистость, встречаются волокнистые разности. Размер кристаллитов, слагающих скрытоокристаллические агрегаты, от долей до десятков мкм.

Алмазы полуупрозрачные, просвечивают или непрозрачные. Цвет черный, иногда грязно-желтый. Содержит графит и лонсдейлит [42,48].

### 2.3.3. Морфология и внутреннее строение кристаллов алмаза

Условия образования и последующего существования алмазов в природе приводят к появлению многообразия облика и внутреннего строения реальных кристаллов алмаза.

Среди плоскограных кристаллов наиболее распространенными являются октаэдры (I и V разновидности), а также, как правило, ядро IV разновидности.

Они образуются путем послойного отложения вещества. Такой рост называется послойным, или тангенциальным.

Возникающие при этом многогранники могут быть как изометричными, острореберными (рис.47), так и деформированными: уплощенными (наиболее часто по  $L_3$ ), удлиненными (наиболее часто по  $L_2$ ), либо иметь более сложные виды деформаций. В таких кристаллах появляются дополнительные ребра на месте вершин, грани приобретают форму трапеций или шестиугольников (рис. 2.48). Степень искажения идеальной формы октаэдра при деформациях может быть различной – от незначительной до сильной, превращающей кристалл в пластинчатый, таблитчатый. Иногда при деформациях кристаллы могут приобретать псевдотетраэдрическую форму.

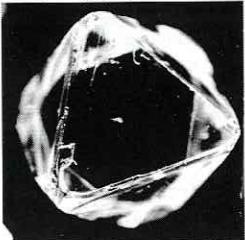


Рис. 2.47. Изометрический октаэдрический кристалл I разновидности



Рис. 2.48. Октаэдрический кристалл алмаза I разновидности, уплощенный по оси  $L_3$  и удлиненный по оси  $L_2$

Определенные условия роста кристаллов могут привести к ступенчатому или полицентрическому развитию граней октаэдра. Образующиеся при этом кристаллы могут иметь различную форму. При грубоступенчатом развитии граней октаэдрическая форма хорошо различима (рис. 2.49а). При тонкоступенчатом (ламинарном) развитии граней на месте ребер появляются комбинационные поверхности, по своему положению соответствующие грани ромбододекаэдра, а иногда и приводящие к образованию псевдоромбододекаэдров (рис. 2.49б). Полицентрическое развитие граней октаэдра (рис. 2.50) приводит к появлению дополнительных октаэдрических вершин на кристаллах, а появление бугорчатых комбинационных поверхностей на месте выхода вершины октаэдра, по своему положению соответствующих грани куба, а в ряде случаев – образованию псевдокубов (рис. 2.51).

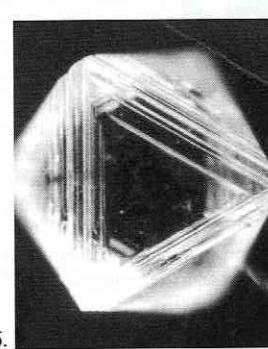
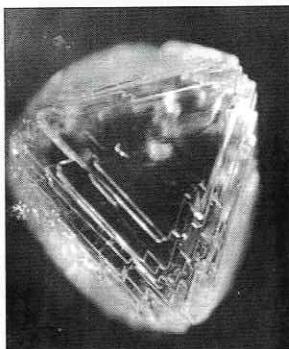


Рис. 2.49. Октаэдрические кристаллы алмаза I разновидности с грубоступенчатым (а) и тонкоступенчатым (б) строением



Рис. 2.50. Октаэдрический кристалл алмаза I разновидности со ступенчатым и полицентрическим развитием граней



Рис. 2.51. Кристалл алмаза I разновидности комбинационной формы с гранями октаэдра и поверхностями псевдокуба и ромбододекаэдра



Рис. 2.52. Кристалл алмаза II разновидности комбинационной формы с гранями куба и тетрагексаэдра

Кристаллы кубического габитуса **II разновидности** редко бывают идеально плоскогранными, острореберными. Их грани и ребра, как правило, несовершенны. Иногда грани имеют седловидный облик. Это обусловлено нормальным механизмом их роста (поверхность грани в процессе «нормального» роста перемещается перпендикулярно – по нормали к самой себе в каждой своей точке [15]). Это выявлено методом рентгено-дифракционной топографии [43]. Иногда алмазы II разновидности представлены кристаллами комбинационной формы с гранями куба и тетрагексаэдра (рис. 2.52).

Кристаллы кубического габитуса **III разновидности** также редко имеют ровную совершенную поверхность граней и острые ребра (рис. 2.38). Встречаются среди алмазов III разновидности также кристаллы комбинационной формы с гранями куба, октаэдра и комбинационной поверхностью, соответствующей по своему положению ромбододекаэдру (рис. 2.53). Алмазы III разновидности имеют секториальное строение [59]: в них наблюдаются сектора, соответствующие пирамидам нарастания граней куба, образовавшимся в результате нормального роста, и сектора, соответствующие пирамидам нарастания граней октаэдра с тангенциальным механизмом роста (рис. 2.39).

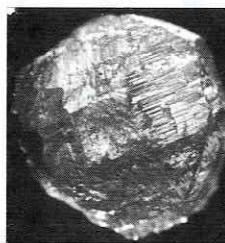


Рис. 2.53. Кристалл алмаза III разновидности комбинационной формы с гранями куба (с тетрагональными углублениями), октаэдра (с тригональными углублениями) и поверхностями, соответствующими своему положению ромбододекаэдра (с вальцеобразной параллельной штриховкой)

**Алмазы IV разновидности** («алмазы в оболочке» “coated diamonds”, или «алмазы в рубашке») имеют четко зональное строение (рис. 2.41). Их ядро по морфологии, тангенциальному механизму роста и свойствам соответствует, как правило, октаэдрическим кристаллам I разновидности. Оболочка алмаза имеет нормальный механизм роста. Между ядром и оболочкой наблюдается четкая граница.

К ней часто приурочено большое количество микровключенияй. Между толщиной оболочки и морфологией кристалла имеется четкая корреляция [95, 38]: если толщина оболочки небольшая, кристалл сохраняет октаэдрическую форму ядра; при увеличении оболочки появляются грани ромбододекаэдра, и кристалл приобретает комбинационную форму с гранями октаэдра и ромбододекаэдра; при дальнейшем разрастании оболочки увеличивается площадь граней ромбододекаэдра и появляются грани куба.

Самая мощная оболочка в алмазах IV разновидности у кристаллов кубического габитуса. Морфология кристаллов **V разновидности** аналогична морфологии алмазов I разновидности (рис. 2.42). Отличительной особенностью является ее зональное строение [60]. Встречаются несколько типов алмазов данной разновидности. Один из них представлен кристаллами с прозрачным, занимающим основной объем, ядром и периферийной зоной черного

цвета, с большим количеством включений черного цвета (вероятно, сульфидов). В другом типе алмазов данной разновидности черного цвета обогащенная включениями зона является промежуточной: то есть, в кристалле имеется прозрачное ядро, промежуточная зона черного цвета и затем – периферийная часть также прозрачная (рис. 2.43). Толщина этой черной зоны и ее расположение также неодинаковы. Эти два типа алмазов V разновидности наиболее распространены. Третий тип представлен алмазами, в которых резкое обогащение черными включениями (сульфидов?) наблюдается практически по всему объему либо в центральных и промежуточных частях кристаллов (например, месторождение Эбелях в Якутии).

Важной особенностью алмазов является широкое распространение среди них **плоско-гранно-кривогранных и кривогранных** кристаллов. Появление округлых поверхностей на алмазах одни исследователи связывают с процессом послойного роста (Haiy, Rose, Zadebeck, Koksharov, Van der Veen, Аншелес, Бартошинский, Гневущев и др.). Другие исследователи объясняют появление кривогранных кристаллов процессами растворения (Ферсман [66], Шафрановский [68], Кухаренко [30], Орлов [38] и др.), что экспериментально было доказано в 1979г. [47].

Долгое время округлые кристаллы называли алмазами «бразильского» типа в отличие от плоскогранных – алмазов «индийского» типа.

Для обозначения форм кривогранных алмазов используют термины: додекаэдроид, октаэдроид, кубоид и тетраэдроид.

**Додекаэдроид** (рис. 2.54) – кривогранный кристалл алмаза, имеющий облик, близкий к ромбододекаэдру, с выпуклыми кривыми гранями, преломленными по короткой диагонали. Грань додекаэдра преломляются по ребрам, называемым граневыми швами [23]. Додекаэдроиды «уральского типа» имеют постоянную кривизну граней. Согласно гониометрическим исследованиям [30,68] сферические вершины световых треугольников А и В соответствуют обычно формам (231), (341), (452), (563), (793), а вершина С – тетрагексаэдру (120) (рис.2.55). Среди додекаэдроидов «якутского типа» часто встречаются кристаллы, имеющие различную кривизну граней и сложное строение поверхности (рис. 2.56).



Рис. 2.54. Додекаэдроид (алмаз I разновидности) с параллельной штриховкой (линии скольжения)



Рис. 2.55. Додекаэдроид «уральского типа», удлиненный по оси L<sub>2</sub> (алмаз I разновидности)

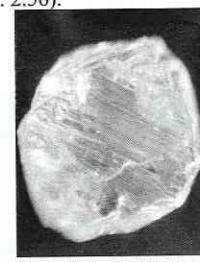


Рис. 2.56. Додекаэдроид «якутского типа» с параллельной вальцеобразной штриховкой (алмаз I разновидности)

Изометричные додекаэдроиды встречаются довольно редко, чаще встречаются кристаллы, искаженные различными деформациями (рис. 2.55).

**Октаэдроид** – кривогранный кристалл алмаза, имеющий ясно выраженный октаэдрический габитус (Кухаренко)[30]. В идеальном случае – это округлый гексаоктаэдрический многогранник со сферическими координатами вершин световых треугольников А и В – (897), а С и Д – (380) и (780). Октаэдроиды также часто бывают деформированными.

**Кубоид(гексаэдроид)** – кривогранный кристалл, имеющий кубический габитус. Кривизна таких кристаллов может быть различной: иногда они имеют выпуклые грани, и носят название сферических кубоидов, в других случаях близки тетрагексаэдрам.

**Тетраэдроид** – кривогранный кристалл, имеющий габитус, соответствующий тетраэдру, тетрагон-тритетраэдру или гексатетраэдру. Правильной формы подобные кристаллы встречаются редко.

### 2.3.4. Скульптуры на гранях алмаза

Поверхность кристаллов алмаза редко бывает идеально гладкой, на ней часто наблюдаются различные скульптурные аксессории.

Возникновение скульптур на гранях кристаллов алмаза связано с процессами роста и растворения.

Правильные **пирамидальные углубления** на плоских гранях, симметрия которых соответствует симметрии грани: на гранях октаэдра – трех- или шестиугольной, на гранях куба – четырехугольной формы. Треугольные углубления, ориентированные обратно параллельно конфигурации грани, имеют форму отрицательных трехгранных пирамид с острой вершиной, либо усеченную плоским дном. Треугольные пирамидки с острой вершиной наблюдаются в виде одиночных углублений или группами и приурочены обычно к выходам дислокаций. Размеры их различны, в среднем 100 мкм, глубина 0,3-2,0 мкм. Границы таких пирамидок гладкие с индексом (332) или имеют ступенчатое строение.



Рис. 2.57. Треугольные углубления на октаэдрической грани алмаза I разновидности

Усеченные плоским дном пирамидальные углубления не связаны с выходами дислокаций, они обычно имеют стекки со сложной поверхностью. Треугольные углубления наблюдаются на октаэдрических гранях алмазов I (рис. 2.57), III (рис.2.54), и V разновидности и покрывают сплошной сеткой грани (111) алмазов IV разновидности (рис. 2.40). Четырехугольные углубления, в свою очередь, образуют аналогичную сплошную сетку на гранях куба (100) алмазов III разновидности (рис. 2.38 и 2.53). Происхождение пирамидальных углублений большинство исследователей связывает с процессами растворения алмаза.

**Микрослоистость** наблюдается на октаэдрических гранях (рис. 2.36). Конфигурация слоев может быть тригональной или дитригональной. Возникновение микрослоистости трактуется не однозначно, объясняется либо процессами растворения [38], либо роста [19].

**Штриховки** параллельные, вальцеобразные (рис. 2.53, 2.56), споновидные (рис. 2.57) наблюдаются на кривогранных поверхностях, могут появляться при растворении кристаллов. Параллельные (рис. 2.54) и елочкообразные (рис. 2.59) штриховки связаны с пластической деформацией кристаллов алмаза (параллельные или пересекающиеся линии скольжения).



Рис. 2.58. Споновидная штриховка на алмазе I разновидности

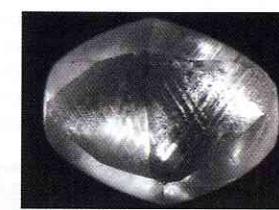


Рис. 2.59. Додекаэдроид уральского типа с елочкообразной штриховкой (алмаз I разновидности с 2 системами линий скольжения)



Рис. 2.60. Додекаэдроид с каплевидными холмиками

Пирамидальные и каплевидные холмики (рис. 2.60) могут отмечаться на округлых поверхностях кристаллов алмаза, как и на других минералах, что обычно связывается с процессами растворения (Ферсман, Орлов, Фекличев).

Ямки травления (рис. 2.55) окружной, овальной, неправильной формы и дисковые положительные скульптуры наблюдаются на кривогранных кристаллах. Их появление объясняется растворением алмаза (Кухаренко, Орлов), однако есть и другие трактовки.

Возникновение черепитчатой скульптуры (рис. 2.61) на округлых поверхностях, подробно описанной А.А. Кухаренко [30], объясняется по-разному: процессами роста, растворения и даже регенерации.

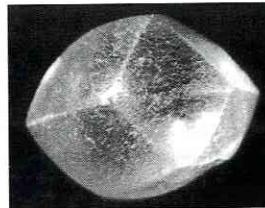


Рис. 2.61. Черепитчатая скульптура на додекаэдроиде (алмаз I разновидности)



Рис. 2.62. Каналы травления, параллельная штриховка и треугольные углубления на грани октаэдра

#### Каналы и сколообразные дефекты.

В результате травления на кристаллах алмаза могут развиваться каналы травления («шрамы») (рис. 2.62). Стенки их представлены сложноскульптурированными поверхностями. Иногда каналы отпиливают от кристаллов целые блоки, в этом случае образуются сколообразные дефекты, названные А.А. Кухаренко расколами протомагматического характера.

#### 2.3.5. Изменение характера поверхности и форм кристаллов в процессе коррозии

В процессе окисления углерода алмаза, т.е. в результате коррозии, поверхность кристаллов становится из блестящей матовой, затем уничтожаются ребра, на гранях развиваются тончайшие трещинки, образующие правильную ромбическую сетку с углами  $70^{\circ}30'$  и  $109^{\circ}30'$ , на гранях октаэдра появляются треугольные углубления, ориентированные согласно конфигурации граней, клиновидные холмики, параллельная штриховка вдоль ребер, ориентированная перпендикулярно ребрам.

#### 2.3.6. Изменение характера поверхности и форм кристаллов в результате механического износа

Алмазы россыпей могут нести на себе следы механического износа, связанного с условиями и длительностью транспортировки кристаллов речными потоками, продолжительностью пребывания в прибрежно-морских условиях и т.д. Они представлены выщербинками и сколами на вершинах, ребрах и гранях кристалла, матовыми поверхностями на ребрах и гранях, истиранием кристаллов и превращением их в шарообразные зерна с матовой шероховатой поверхностью (рис. 2.63).

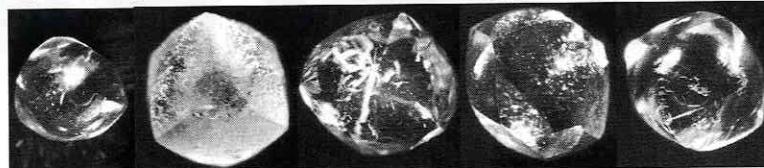


Рис. 2.63. Признаки механического износа на кристаллах алмаза.

Степень механического износа позволяет определить и оценить длительность и условия пребывания алмазов в россыпях, что используется как один из важнейших критерий при поисках коренных источников [30, 12 и др.].

#### 2.4. Оптические свойства

##### 2.4.1. Показатель преломления и отражательная способность алмаза

Показатель преломления алмаза  $n$  (характеризующий скорость прохождения света через кристалл по сравнению со скоростью в вакууме или воздухе) равен 2,417 при натровом свете ( $\lambda=589,3$  нм). В зависимости от длины волны показатель преломления алмаза значительно меняется, что определяет «игру» ограненных камней. Значение показателя преломления в диапазоне  $\lambda=369,9-762,8$  нм меняется от 2,4653 до 2,4024, то есть дисперсия равна 0,0629 (Wülfing, 1896). Приводимые другими авторами значения  $n$  в диапазоне  $\lambda=441,0-762,8$  нм равны от 2,4482 до 2,4024, то есть дисперсия показателя преломления в этом диапазоне составляет 0,0458 (Seal, 1977).

Показатель преломления понижается при воздействии на алмазы гидростатического давления и повышается при нагревании.

Показатель преломления определяет и отражательную способность камня: по формуле Френеля коэффициент отражательной способности  $R=\frac{(n-1)^2}{(n+1)^2}$ . Для алмаза  $R=0,172$ . Это

означает, что гладкие грани алмаза отражают 17,2% падающего на них света и имеют алмазный блеск. Однако часто наблюдаемое несовершенство поверхности алмаза (наличие ступенчатости, штриховок, различных скульптурных аксессуаров) приводит к понижению блеска до маслянистого и даже стеклянного или матового.

##### 2.4.2. Аномальное двупреломление в кристаллах алмаза

Характерным свойством кристаллов алмаза является аномальное двупреломление. Появление двупреломления в минерале кубической сингонии связывается с наличием упругих напряжений. Сила двупреломления, узоры картин, цвета интерференции и их распределение по объему кристалла могут быть различными. Неодинаковы и причины возникновения оптической анизотропии алмазов. Существует корреляция их с узорами аномального двупреломления, наблюдаемыми в поляризованном свете при скрещенных николях [38, 7].



Рис. 2.64. Полосчатый узор аномального двупреломления в алмазе

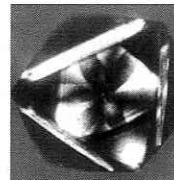


Рис. 2.65. Звездообразные шестилучевые фигуры аномального двупреломления в алмазе

1. Зональное строение октаэдрических кристаллов алмазов отражается в полосчатом узоре дупреломления, который наиболее четко различим в разрезах по плоскости (100) и (110). Полосы строго привязаны в объеме кристалла, при вращении столика микроскопа врачаются вместе с ним. Величина двупреломления обычно невелика – наблюдаются серо-черные и бело-серые полосы (рис. 2.64), отражающие наличие напряжений на границе зон с различным содержанием примесей, создающих некоторые вариации параметров решетки.

2. Неравномерное распределение примесей в пирамидах нарастания граней октаэдра и куба в октаэдрических кристаллах алмазов 1 разновидности отражается в узорах в виде правильных звездообразных шестилучевых фигур (рис. 2.65):

А.В. Варшавский [7], показал, что эти фигуры и их лучи трехмерны, лучи ведут себя как односные положительные кристаллы, лучи испытывают осевое растяжение и нормальное оси - сжатие.

3. В кристаллах, претерпевших пластическую деформацию, параллельно плоскости скольжения наблюдается полосчатость в узорах двупреломления (рис. 2.66). Так как в одном кристалле может быть не одна, а две, и три, и четыре системы скольжения, то полосы могут пересекаться и образовывать блочную или мозаичную картину (рис. 2.66). Сила двупреломления в таких кристаллах может быть различной, в связи с чем можно наблюдать как се-рые цвета 1 порядка, так и очень высокие - 2 порядка и выше.

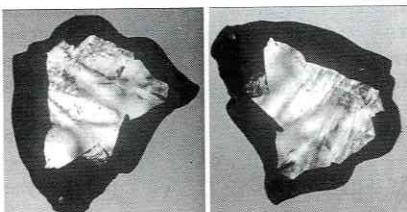


Рис. 2.66. Полосчатый узор аномального двупреломления в алмазе, связанный с пластической деформацией

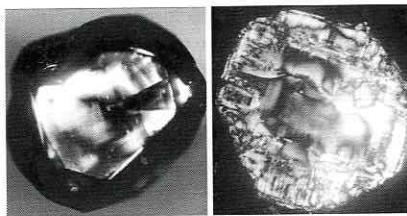


Рис. 2.67. Узоры аномального двупреломления, связанные с дислокациями в алмазах: а - алмаз I разновидности; б - алмаз IV разновидности

вращения. Форма балок при этом, как правило, не изменяется. В других случаях крест распадается на пару дуг (изоклины).

Природа объемных напряжений объясняется по-разному, часто ее связывают с изменением внешнего давления при выносе кристаллов с глубины [7].

Узоры, связанные с объемными напряжениями, наблюдаются на кристаллах со следами механических ударов (в частности после дробления пород, содержащих алмазы).

6. В ряде кристаллов алмаза в скрещенных николях обнаруживаются темные «фантомы» октаэдрической, эллипсовидной, круглой, неправильной формы (рис. 2.68).

Такие «фантомы» появляются в кристаллах в том случае, когда различные зоны кристалла испытывают разнонаправленные напряжения. Иногда наблюдаются множественные фантомы, состоящие из нескольких вписанных один в другой фантомов.

Сила двупреломления в таких узорах может быть различной – наблюдаемые цвета интерференции от низких серых до высоких цветных.



Рис. 2.68. Узоры аномального двупреломления в виде фантома

8. Узоры аномального двупреломления, связанные с фигурами удара напоминают микроскопические узоры, аналогичные узорам вокруг включений.



Рис. 2.69. Узоры аномального двупреломления в алмазах типа II (по физической классификации)

## 2.5. Окраска алмазов

### 2.5.1. Механизм формирования цвета и центры окраски в алмазах

Идеальный алмаз является абсолютно бесцветным кристаллом т.к. не имеет полос поглощения в видимой области (ВО), а край его фундаментального поглощения находится далеко в ультрафиолетовой области. Окраска алмазов всегда связана с присутствием в их структуре собственных или примесных дефектов кристаллической решетки активных в ВО спектра.

В настоящее время накоплен ряд спектроскопических данных по измерениям цвета алмазов. Это дает возможность выделить основные дефекты являющиеся наиболее значимыми центрами окраски и количественно оценить степень влияния каждого из них на насыщенность окраски (S%) и основной цветовой тон ( $\lambda_0$ нм), определяющий цвет алмазов.

#### Желтые тона окраски.

Наиболее сильно на цвет алмазов влияют **C-центры** (одиночные, парамагнитные, замещающие атомы примесного азота в узлах решетки алмаза). Концентрация этих дефектов может быть достаточно точно определена по данным инфракрасных или ЭПР спектров алмаза. В ВО С-центры проявляются монотонным ростом поглощения с уменьшением длины волны. Они окрашивают алмазы в желтые и (с ростом концентрации) желто-оранжевые цвета с  $\lambda_0$  от 570 до 578нм, а насыщенность цвета достигает 90% от максимально возможной, что экспериментально наблюдается в некоторых разновидностях природных и синтетических кристаллов.

**H3-центры** (А-центр + вакансия) проявляются в ВО относительно узкой полосой фонового повторения (~480нм) почти также эффективно как С-центры окрашивают алмазы в желтый цвет с  $\lambda_0$ ≈575нм, с насыщенностью вплоть до ~60%.

В этой же спектральной области проявляются **H4-центры** (два атома азота + две ваканции). Влияние их на цвет алмаза аналогично N3-центрам, однако, количественно пока не измерено из-за ряда экспериментальных сложностей.

Наиболее слабо (почти на порядок) в желтый цвет ( $\lambda_0 = 571$  нм) алмазы окрашивают характерные для природных кристаллов **N3-центры** (три замещающих атома азота + вакансия). Максимальную насыщенность окраски за счет этих центров можно оценить не более 10%, что, впрочем, является практически предельной насыщенностью для ювелирного сырья.

#### Синие и голубые тона окраски

Наиболее интенсивно в синий и голубой цвет окрашивает безазотные алмазы примесь бора (алмазы **типа IIb**). Синие цвета образуются в этом случае в результате формирования в ВО спектра таких алмазов монотонного поглощения возрастающего с ростом длины волны. Насыщенность такой окраски за счет концентрации бора может достигать почти предельных значений.

**GR-система** поглощения (нейтральная вакансия) достаточно эффективно окрашивает алмазы в голубые цвета с  $\lambda_0 = 480$ –490 нм.

Аналогично, но несколько слабее в синие оттенки цвета с  $\lambda_0 = 470$ –476 нм окрашивает алмазы и полоса поглощения **640 нм** интерпретируемая как одиночный замещающий атом азота + заряженная вакансия.

Полоса поглощения H2 (зарядовое состояние N3-центра) с максимумом 800 нм за счет заметного «хвоста» поглощения в красной области спектра ВО слабо окрашивает в голубые цвета ( $\lambda_0 = 493$  нм).

#### Пурпурные тона окраски

**Полоса 555 нм**, которую обычно связывают с дислокационными дефектами, окрашивает алмазы в пурпурные цвета с **дополнительной** длиной волны  $\lambda_0 = 565$  нм и как правило служит основной компонентой при формировании цвета «красных» или «розовых» бриллиантов.

Все приведенные выше данные относятся к отдельным полосам поглощения, выделенным из спектров реальных алмазов, в которых обычно одновременно присутствуют несколькими различных накладывающихся друг на друга систем полос, соответствующих набору дефектов в структуре каждого кристалла.

Формирование суммарного цвета алмазов происходит в этом случае более сложным образом – путем векторного суммирования эффектов от отдельных центров. Прямые экспериментальные измерения цвета по исходным спектрам кристаллов и расчетные результаты суммирования отдельных систем поглощения при этом прекрасно совпадают. В частности, в алмазе нет отдельных центров формирующих зеленые или чисто красные цвета, и эти оттенки возникают в них только в результате сложения эффектов окраски от желтых и голубых или желтых и пурпурных центров окраски соответственно, т.е. возможны только при наличии примеси азота.

Естественно соответствующие комбинации всех этих дефектов позволяют получать различные вариации этих цветов: желто-зеленые, зелено-голубые, красные и пурпурные различных оттенков и т.д.

Вопрос о природе коричневой окраски алмаза пока еще достоверно не установлен. Она, несомненно, связана как с ахроматическими, так и хроматическими потерями света за счет эффектов рассеяния, интерференции или дифракции. Однако чисто ахроматическое поглощение может вызывать только серую окраску кристаллов. Такая окраска наблюдается у некоторых алмазов. Формирования коричневых, оливковых, желтых и др. тонов возможно в таких алмазах только за счет присутствия в спектрах дополнительной цветовой составляющей образующейся за счет вышеописанных центров окраски или вследствие неравномерного по  $\lambda$  поглощения света в видимой области спектра.

При визуальном просмотре алмазов цветовая составляющая обычно отдельно не просматривается, а только придает серым цветам соответствующие оттенки. Однако в спектрах алмазов цветовая составляющая отчетливо проявляется при расчетах  $\lambda_0$  и показывает характерные для большинства алмазов желтые и желто-оранжевые и другие цвета различной на-

сыщенности. В тех случаях, когда ахроматическое поглощение удается устранить соответствующей обработкой кристалла, цветовая составляющая становится отчетливо видимой.

На рисунке 2.70 приведены аналитические зависимости влияния центров окраски на насыщенность цвета алмазов.

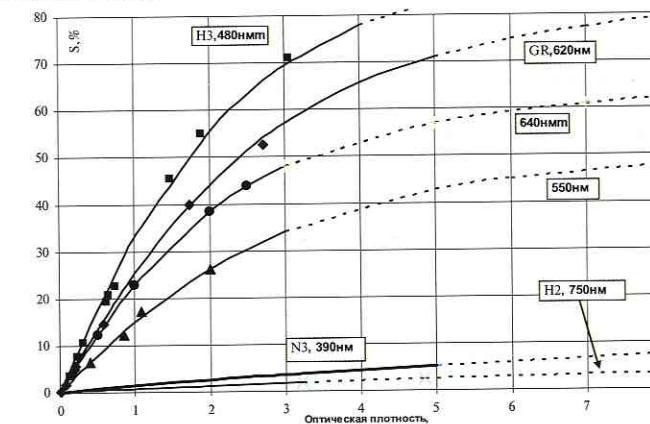


Рис. 2.70. Влияние различных дефектов на цвет алмазов (сплошные линии – области экспериментальных значений, пунктирные – расчетные данные. Рядом с названиями дефектов приведены длины волн, на которых проводились измерения интенсивности поглощения)

#### 2.5.2. Природа окраски алмазов

Наиболее часто в природе встречаются алмазы, окрашенные в желтый цвет. В общем случае наличие азотных дефектов обуславливает два типа поглощения в синей области видимого спектра, приводящего к появлению желтой окраски. Желтая окраска, обусловленная присутствием центра N3 характерна для алмазов I разновидности (по минералогической классификации Ю.Л. Орлова). В типе Ia (по физической классификации) агрегаты атомов азота образуют центр N3 с главной линией 415 нм (рис. 2.21).

Чем выше концентрация центра N3, тем более насыщенной становится желтая окраска алмазов (рис. 2.71). Считается, что этот центр состоит из трех атомов азота, замещающих атомы углерода в решетке алмаза, и окружающих вакансии (узел решетки, в котором отсутствует атом углерода). Центр N3 может сопровождаться центром N2, проявленным в спектре более широкими, но более слабыми линиями 452, 465 и 478 нм. При освещении длинноволновым ультрафиолетовым светом ( $\lambda_{возб.} = 365$  нм) у таких алмазов видно голубое свечение разной интенсивности.



Рис. 2.71. Желтый алмаз с окраской, обусловленной присутствием системы N3.

Значительно менее распространены алмазы типа IIb, в которых присутствие одиночных атомов азота, замещающих углерод, вызывает появление широкой полосы около 270 нм. По мере увеличения концентрации дефекта С край поглощения сдвигается в длинноволновую сторону вплоть до 500 нм и окраска становится оранжевой [85] (рис. 2.19). Такая окраска характерна для алмазов II разновидности и оболочки IV разновидности (по минералогической классификации Ю.Л. Орлова).

Как самостоятельный тип желтой окраски следует отметить окраску, возникающую при наличии большого количества желтых пятен пигментации (иногда цвет этих пятен имеет бурый или красноватый оттенок). Желтые или бурые пятна пигментации возникают при воздействии высоких температур на алмазы с зелеными пятнами пигментации. При этом происходит трансформация дефектов: при наличии в алмазе с зелеными пятнами пигментации (т.е. при наличии дефекта GR1) дефектов А и В1 при нагревании образуются дефекты Н3 и Н4, которые устойчивы вплоть до 1200-1500°C. В состав дефектов Н3 и Н4 входят азот и ваканции. Эти дефекты обуславливают желтовато-зеленую, желтовато-коричневую окраску пятен пигментации. Алмазы с бурыми пятнами пигментации характерны для древних россыпей, которые подверглись процессам автометаморфизма [34].

Существует еще одна группа желтых алмазов, весьма редко встречающихся, в которых желтый цвет связан с присутствием никель-содержащих дефектов [35, 75]. До недавнего времени повышенное содержание никеля отмечалось только в синтетических алмазах, в которые никель может входить в состав флюса, наличие никеля в природных желтых алмазах было выявлено методом энергодисперсионного рентгенофлюоресцентного анализа. Исследования, проведенные с помощью оптической спектроскопии, позволили выявить наличие центров, которые по аналогии с синтетическими алмазами можно связать с присутствием никеля в алмазе [75]. По результатам ЭПР-исследований было сделано предположение [35], что никель входит в состав донорно-акцепторной пары: в роли акцептора выступает бор или алюминий, замещающие углерод, а примесный  $Ni^{+}$  находится вблизи акцептора в интерститиции. Такая окраска встречается у алмазов I разновидности.

Коричневые алмазы также широко распространены. Слабая коричневая окраска выглядит серо-дымчатой, при высокой насыщенности это может быть коричневая, желто-коричневая, красновато-коричневая, шоколадная окраска. Она часто бывает неравномерной с отчетливо видимыми полосами и пятнами более интенсивной окраски. Коричневый цвет обусловлен, по мнению большинства исследователей [73, 16, 17], наличием дефектов, образующихся при пластической деформации, при этом плоскости скольжения, по которым собственно и происходит пластическая деформация, параллельны плоскостям октаэдра. Коричневая окраска приурочена к плоскостям скольжения. В кристалле может быть не более четырех систем плоскостей скольжения (каждая параллельна паре октаэдрических граней). Наличие нескольких систем плоскостей скольжения и большого количества параллельных друг другу плоскостей скольжения в каждой системе приводит к визуальной неоднородности коричневой окраски: она выглядит пятнистой или полосчатой. Спектр поглощения таких алмазов чаще всего бесструктурный, поглощение растет от ближней ИК области в сторону УФ области. Если коричневая окраска имеет дополнительные оттенки (желтый, розовый), в спектре поглощения в УФ-видимой области появляются осложняющие его полосы, характерные для алмазов с такой окраской (например, система N3 для желто-коричневых и полоса 560 нм – для розовых алмазов) (рис. 2.72, 2.73).

Еще более редки алмазы с сиреневой и розовой (красной) окраской. Алмазы с сиреневой окраской встречаются в якутских коренных месторождениях (трубы Интернациональная и Дачная), с розово-коричневой – в анабарских россыпях. Розовые до красных алмазы встречаются среди алмазов австралийской трубы Аргайл

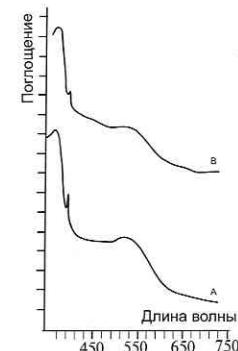


Рис. 2.72. Спектры поглощения коричневых алмазов в УФ - видимой области.



Рис. 2.73. Коричневый алмаз.

До открытия этой трубы розовый цвет считался самым редким цветом алмаза. Это связано с тем, что розовые алмазы известны только в нескольких месторождениях. Среди них индийские месторождения плато Декан, единичные находки были зафиксированы в штате Диамантина (Бразилия). С открытием в Австралии кимберлитовой трубы Аргайл количество розовых алмазов, поступающих на рынок, заметно возросло. Как правило, розовый цвет алмазов имеет дополнительные оттенки: оранжевый, пурпурный или коричневый, реже синий [79]. Окраска, как правило, распределена неравномерно: она может быть полосчатой или пятнистой. Причем окрашенные полосы, как и в случае коричневой окраски, приурочены к плоскостям скольжения. Это дает основания предполагать связь розовой окраски и пластической деформации. В спектре поглощения розовых и сиреневых алмазов имеется широкая полоса с максимумом около 550-560 нм. Наличие этой полосы на фоне возрастающего поглощения (от ИК диапазона в сторону УФ диапазона) приводит к появлению розового цвета. В спектрах розовых алмазов, имеющих дополнительные оттенки, отмечаются полосы N3 (415,2 нм) и др. В тех случаях, когда поглощение в полосе N3 отсутствует или незначительно, появляется пурпурный оттенок вплоть до сиреневого цвета (рис. 2.74, 2.75).



Рис. 2.74. Сиреневые (а) и розовые алмазы (б).

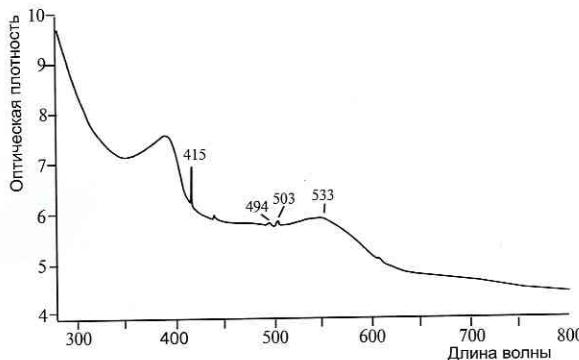


Рис. 2.75. Спектр поглощения в УФ-видимой области розового алмаза.

Зеленые алмазы встречаются довольно часто среди неограненных алмазов, но очень редко можно встретить зеленый бриллиант с природной окраской. Наиболее известен алмаз «Зеленый Дрезден» (масса 40,70 карата) (рис. 2.76). Этот ограненный алмаз



Рис. 2.76. Алмаз «Зеленый Дрезден» [68]

имеет довольно интенсивный голубовато-зеленый цвет. Зеленая окраска алмазов является следствием природного радиоактивного облучения  $\alpha$ - или  $\beta$ -частицами. При этом образуется центр окраски, которым является нейтральная вакансия – центр GR1. Из-за их низкой проникающей способности окраска затрагивает только поверхностную зону кристалла (несколько атомарных слоев). При этом окраска может покрывать весь кристалл – так называемая «зеленая кожа», или распределяться неравномерными пятнами, причем внутри пятен окраска тоже неравномерная. Наконец, встречаются кристаллы, на которых имеются отдельные пятна зеленой окраски ( пятна пигментации) (рис. 2.77).



Рис. 2.77. Алмазы с зеленой окраской разной интенсивности.

Насыщенный зеленый цвет, охватывающий весь объем камня возникает только при облучении частицами с высокими энергиями, например,  $\gamma$ -частицами или нейтронами и это очень редкий случай [84, 80]. Кроме того, зеленая окраска алмазов термически не стабильна. Нужны миллионы лет облучения  $\gamma$ -частицами или нейтронами и при этом температура окружающей среды должна быть более или менее постоянной. Только в таких экстремально редких условиях алмаз может приобрести насыщенную зеленую окраску. Возможными источниками  $\gamma$ -частиц являются  $U^{238}$ ,  $Th^{232}$ ,  $K^{40}$ , а также продукты их распада (наиболее вероятным является  $U^{238}$ , входящий в состав уранинита). В спектрах поглощения в видимой об-

ласти дефект GR1 проявляется в виде широкой полосы с максимумом около 640 нм и главной линией дублетом 744 и 748 нм (рис. 2.27).

Синие и голубые алмазы также относятся к редким. Известный синий алмаз «Хоуп» массой 44,40 карата (рис. 2.78) [70] был найден в Индии в районе Голконды. Цвет алмазов может быть от едва заметного голубого до ярко-синего (рис. 2.79).



Рис. 2.78. Алмаз «Хоуп» [59]



Рис. 2.79. Алмазы с голубой окраской, обусловленной примесью бора.

Интересной особенностью голубых и синих алмазов является их принадлежность к типу IIb по физической классификации. Это безазотные алмазы, содержащие примесь бора ( $B^{3+}$ ), они единственные из всех алмазов проводят электрический ток – являются полупроводниками р-типа («дырочная» проводимость). Синий цвет алмазов типа IIa обусловлен поглощением в видимой области, возрастающим в сторону ИК диапазона (рис. 2.26а).

В интенсивно окрашенных синих алмазах окно пропускания может оставаться только в голубой-синей-фиолетовой областях. Для таких алмазов характерно наличие красной фосфоресценции (свечения после выключения источника коротковолнового УФ излучения), продолжительностью до 45 сек. [83].

Другой тип голубых, часто с серым оттенком, алмазов был обнаружен среди алмазов трубы Аргайл. Эти алмазы, относящиеся к типу Ia по физической классификации, не содержали бора, соответственно, не обладали полупроводниковыми свойствами. В спектре поглощения в видимой области имеются полосы (405, 425, 445 нм), которые ранее в алмазах не отмечались (рис. 2.80).

В спектрах в ИК диапазоне отмечаются полосы  $1498$ ,  $2786$ ,  $4499\text{ см}^{-1}$  и две полосы очень высокой интенсивности  $1307$  и  $3237\text{ см}^{-1}$ . Две последние характерны для алмазов, содержащих водород [71] (рис. 2.81).

Для них характерна желтая до желто-зеленой флюоресценция (в длинноволновом УФ) и желтая фосфоресценция.

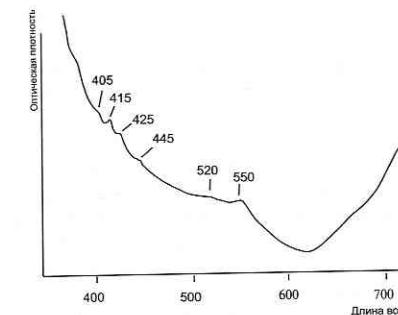


Рис. 2.80. Спектр поглощения в видимой области голубого алмаза с повышенным содержанием водорода.

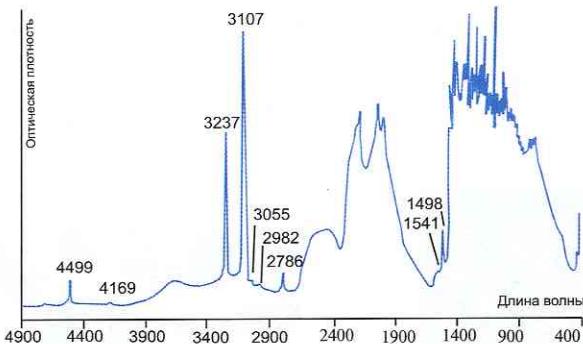


Рис. 2.81. Спектр поглощения в ИК области голубого алмаза с повышенным содержанием водорода.

Совершенно черные алмазы встречаются довольно редко. Это монокристаллы, относящиеся к V разновидности и поликристаллические агрегаты IX разновидности, некоторые алмазы X разновидности – карбонато – также имеют черную окраску (рис. 2.82).



Рис. 2.82. Черные алмазы V разновидности.

1. Темно-серые до черных монокристаллы. Черный цвет этих алмазов обусловлен наличием черных включений, чем больше таких включений и чем более равномерно они распределены по объему кристалла, тем более насыщенный и равномерный черный цвет имеет алмаз. Черные включения представлены сульфидами (халькопирит, пентландит, пирротин и др.), которые в основном декорируют дисковидные трещины. Такие алмазы визуально могут казаться совершенно черными, но при просмотре их под микроскопом при сильном источнике света видны отдельные просвечивающие участки, где количество включений несколько меньше, чем в остальном объеме кристалла. При освещении УФ источником эти участки иногда флюоресцируют голубым светом.

2. Поликристаллические алмазы являются мелко- и тонкозернистыми агрегатами, которые также часто содержат большое количество включений, обуславливающих их черный цвет. Такие алмазы встречаются практически в каждом месторождении. В них кроме названных выше сульфидов имеются хромпикит, самородные железо, хром, никель, tantal, интерметаллические соединения железо-хром, железо-никель, аморфный углерод [14]. Эти агрегаты очень твердые и прочные. Иногда такие алмазы обладают магнитными свойствами. Очевидно, это связано с присутствием магнетита и минералов железа. Огранка таких алмазов из-за различной ориентации кристаллов довольно сложна и на границах зерен практически всегда образуются трещинки выкрашивания. Они могут быть практически незаметными небооруженному глазу, и ограненный камень будет иметь сильный металловидный блеск, но при просмотре в микроскопе с боковым освещением эти трещинки хорошо видны, хорошо видны также границы раздела зерен.

Белая окраска алмазов, вероятно, самая редкая. Эти алмазы могут выглядеть молочно-белыми со слабой опалесценцией. По мнению ряда авторов [67, 90] эта окраска связана с мельчайшими включениями, равномерно распределенными в поверхностной зоне кристалла.

В работе [67] на основании рентгеновских исследований сделано предположение о том, что эти включения являются гранатами. В спектрах поглощения белых алмазов в видимой области не отмечается никаких сколько-нибудь заметных особенностей, тогда как по спектрам поглощения в ИК диапазоне можно говорить о повышенном содержании азота и водорода. Иногда для таких алмазов отмечается голубая флюоресценция.

Наиболее редким типом окрашенных алмазов являются алмазы-хамелеоны – алмазы, меняющие цвет. Смена цвета происходит после нагрева (приблизительно до 150°C) – термохромное изменение цвета или после выдержки в темном помещении – фотохромное изменение цвета. Устойчивый цвет таких алмазов чаще всего от серовато-желтовато-зеленого до серовато-зеленовато-желтого (оливкового) [76, 72] (рис. 2.83).

Неустойчивый цвет – коричневато- или оранжевато-желтый до желтого. После нагревания цвет алмаза довольно быстро возвращается к исходному. После выдержки в темноте цвет меняется не столь резко. Окраска в таких алмазах распределена равномерно, в редких случаях видно пятнистое распределение окраски или полосчатость.

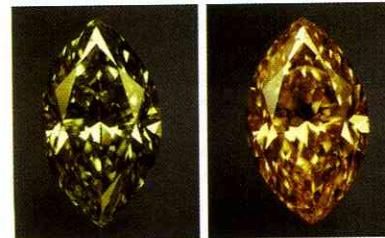


Рис. 2.83. Алмаз-хамелеон (слева – цвет при комнатной температуре, справа – при 150°C).

Флюоресценция белесая до белесо-желтой, более интенсивная при облучении длинноволновым УФ, нежели коротковолновым. В ИК спектрах отмечается присутствие А-дефекта в умеренных количествах и С-Н групп, их количество также невелико. В спектрах этих алмазов в УФ-видимой области, имеется полоса поглощения 480 нм и очень широкая полоса 775-825 нм, система N3, как правило, отсутствует, а если она и проявлена, то очень слабо. В спектрах поглощения полученных при температуре 150-350°C отмечается уменьшение пропускания в голубой и частично в зеленой области спектра. Как и в ИК спектрах здесь отмечается присутствие полос, связанных с наличием С-Н групп – полоса 425 нм. Полоса 480 нм обычно присутствует в алмазах смешанного типа Ib/aA по физической классификации – содержащих азот в виде одиночных замещающих атомов и азот в форме А-дефекта (оранжевые до оранжево-желтых алмазы) (рис. 2.84). Причиной изменения цвета считается сочетание дефектов С-Н и азота в виде С-дефекта (полоса 480нм). Эта комбинация, по-видимому, и вызывает термохромное и фотохромное изменение цвета.

Кроме названных цветов алмазы-хамелеоны гораздо реже, но встречаются в другой цветовой гамме. Например, темный желто-зеленый алмаз после нагревания в пламени спиртовки стал интенсивно-оранжево-желтым [74].

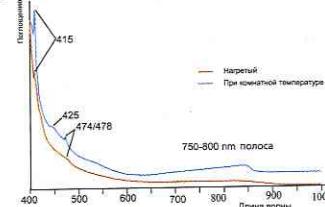


Рис. 2.84. Спектры поглощения в видимом – ближнем ИК-диапазонах алмазов-хамелеонов [74].

## 2.6. Люминесценция алмазов

Среди алмазов часто встречаются кристаллы люминесцирующие (светящиеся) под действием ультрафиолетовых, рентгеновских, катодных и др. лучей. При различном возбуждении свечение алмазов может отличаться как по цвету, так и по интенсивности, некоторые алмазы люминесцируют только под действием одного вида возбуждения.

Наиболее изученными видами люминесценции алмазов, возбуждаемых разными источниками энергии, являются их фотополюминесценция (ФЛ), рентгенополюминесценция (РЛ) и катодополюминесценция (КЛ). ФЛ отличается тем, что свечение кристалла возбуждается излучением световых источников, работающих в оптическом диапазоне (преимущественно ультрафиолетовом - УФ). ФЛ алмазов исследуется как визуально по цвету свечения, так и с помощью серийных регистрирующих спектрометров. С использованием лазеров в качестве мощных источников возбуждения ФЛ кристаллов количество природных алмазов, способных светиться в среднем увеличилось почти вдвое. К тому же большое количество разнообразных структурных и примесных дефектов кристаллической решетки алмазов разного происхождения, проявляющихся в спектрах ФЛ, сделало этот метод одним из наиболее широко используемых в исследованиях.

В результате взаимодействия возбуждающего светового излучения с оптическими электронами дефектного центра алмаза и колебаниями его собственной кристаллической решетки (фононами) в спектрах свечения появляется электронно-колебательная полоса, спектральные характеристики которой определяются особенностями электронного строения дефекта. Важнейшей из них является положение максимума головной линии, именуемой часто бесфононной. Длина волны, при которой проявляется эта линия ( $\lambda_{б/ф}$ ) часто дает название самому дефектному центру. Бесфононная линия называется так по причине неучастия в ее образовании колебаний решетки. Как правило, бесфононная линия в спектре проявляется отчетливо только при регистрации спектра алмаза, охлажденного ниже комнатной температуры. В данном случае значения  $\lambda_{б/ф}$  приведены в таблицах для температуры около 80К (температура жидкого азота).

Ранее отмечалась взаимосвязь основных и дополнительных дефектов. Последние образовались в результате захвата основными азотными дефектами вакансий. Наиболее сильные из последних, проявляющиеся в ФЛ, представлены в таблице 2.3.

В таблице представлены распространенные системы полос ФЛ алмазов с соответствующими значениями  $\lambda_{б/ф}$ , вероятное происхождение центров указано в колонке «модели центров». Всех их объединяет участие примесных атомов азота (N) или для синтетических алмазов (п.п. 10 и 12) – наличие атомов никеля (Ni). В модели центра 575 нм  $I_N$  означает междоузельное размещение атомов азота.

Электронно-колебательная система S3 с бесфононной линией 496,7 нм и сопровождаемая центрами с  $\lambda_{б/ф} = 603,8; 700$  и 788, а также 793 нм обнаружена сравнительно недавно в редкой III разновидности природных алмазов (по минералогической классификации Ю.Л. Орлова) и по причине ее экзотичности здесь не обсуждается.

Табл. 2.3. Примесные центры ФЛ алмазов [2]

№	Обозначение центра	Модели центров	$\lambda_{б/ф}$ , нм	Примечания
1	N9	B1	234,8 и 235,5-235,9	
2	N3	3N+V	415,2	Рис. 2.85а
3	H3	A+V	503,2	Рис. 2.85б
4	H2	(A+V) <sup>-</sup>	989,3	
5	H4	B1+V	495,8	Рис. 2.85в
6	S2	..N+V+N.. или Ni <sup>+</sup> +2V+nN	523,2; 489,1; 477,6 и др.	Рис. 2.85д

7	S1	N+V	503,2 и 510,3	Рис. 2.85г
8	640	(N+V <sup>+</sup> )	638	Рис. 2.85в
9	575	$I_N$ +V	575,5	Рис. 2.85в
10	484	Ni	484,4	
11	884	Ni <sup>+</sup> или 2Ni	884,9	

Другие распространенные люминесцентные центры обусловлены собственными структурными дефектами, к которым относятся вакансии, дислокации, смещенные в междоузельное пространство атомы углерода и др.

Их возникновение обусловлено разными видами воздействия на алмаз: радиоактивное облучение, облучение ускоренными ионами, термообработка и механические напряжения, происходящие в процессе генезиса алмаза или с целью искусственно изменения его физических свойств.

Перечисление этих ФЛ дефектов дано в табл. 2.4. Следует признать, что модели этих центров весьма спорные, некоторые дефекты проявляются в поликристаллических алмазах, кристаллах, явно претерпевших пластические деформации, например, системы п.п. 6 и 7.

Табл. 2.4. Собственные ФЛ дефекты алмаза [2].

№	Обозначение	Модели дефектов	$\lambda_{б/ф}$ , нм
1	389	$I_N$ , N+ $I_C$	389
2	ND1	V	393,6
3	441,6	N+ $nI_C$	441,6
4	TR12	$nV$ + $mI_C$	470
5	3H	V+C+C+V	503,4
6	490,7	N+V+N	490,7
7	578	V+x	578
8	730	Дислокации	730

Следует отдельно остановиться на ФЛ алмазов различных разновидностей по классификации Ю.Л. Орлова, связанной с наличием свечения, спектр которого расположен в видимой области и, следовательно, свечение можно наблюдать визуально при УФ возбуждении с длиной волны 365 или 254 нм [38, 62].

Для бесцветных и желтых алмазов I разновидности характерно голубое свечение, связанное с присутствием центра N3, значительно реже оно встречается у дымчато-коричневых алмазов. Интенсивность голубого свечения может быть различной: от едва заметного до очень яркого, причем, если возрастание интенсивности свечения непосредственно связано с увеличением концентрации центра N3 в кристаллической решетке алмаза, то отсутствие свечения может быть связано как с отсутствием данного центра в структуре алмаза, так и с очень высокими его концентрациями, при которых наступает концентрационное тушение ФЛ. В спектре ФЛ центр N3 проявляется в виде системы эквидистантно расположенных полос с бесфононной линией 415,2 нм (рис. 2.85).

Среди дымчато-коричневых алмазов I разновидности встречается довольно большое количество кристаллов с желто-зеленой и зеленой ФЛ. Очевидно, это связано с дефектами, приуроченными к плоскостям скольжения.

Для алмазов II разновидности характерно желтое до желто-оранжевого свечение, обусловленное наличием центра S1, проявляющегося в спектрах в виде одноименной системы с бесфононной линией 510,7 нм.

Алмазы III разновидности чаще всего имеют желто-зеленое свечение, которое является результатом наложения желто-зеленого свечения внешней зоны на голубое свечение центральной. Нужно отметить, что ФЛ наблюдается только у светло-серых просвечивающих кристаллов, если кристалл имеет темно-серую окраску, ФЛ отсутствует.

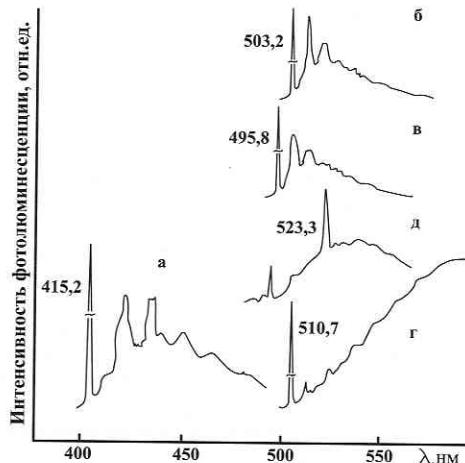


Рис. 2.85. Спектры фотолюминесценции алмазов (а – система N3; б – система H3; в – система H4; г – система S1; д – система S2).

ФЛ алмазов IV разновидности зависит от того, насколько интенсивно окрашена их оболочка и от того, насколько она прозрачна. Если оболочка тонкая и просвечивает, алмазы IV разновидности имеют свечение молочно-голубого, желтоватого цвета. В таких алмазах ФЛ имеет ярко выраженный зональный характер: для ядра характерно голубое свечение, а оболочка либо не светится, либо (редко) имеет желтоватое свечение.

Зональный характер ФЛ отмечается также у алмазов V разновидности. Центральная часть таких кристаллов чаще всего светится голубым, а внешняя зона, переполненная включениями – желтым, оранжеватым. В алмазах с неравномерным распределением включений наблюдается пятнистая голубая ФЛ – прозрачные участки кристалла светятся голубым, а там где включений много и алмаз непрозрачен, свечение отсутствует.

В поликристаллических агрегатах VIII разновидности можно наблюдать голубую, желто-зеленую, оранжевую ФЛ.

У отдельных кристаллов с очень высокой интенсивностью ФЛ можно наблюдать фосфоресценцию (послесвечение). Наиболее она характерна для голубых алмазов, относящихся к типу IIb по физической классификации. Такие алмазы светятся при возбуждении с длиной волны УФ излучения 254 нм и обнаруживаются заметную красную фосфоресценцию.

Цвет свечения кристаллов алмаза может быть связан с присутствием нескольких центров ФЛ, которые, накладываясь, приводят к появлению иного цвета, чем цвет, характерный для свечения каждого из них (примером может служить зеленоватое свечение, возникающее при наличии в структуре алмаза центров N3 и S1, обуславливающих голубое и желтое свечение соответственно). Иногда цвет свечения может быть связан с зональностью кристалла и разным цветом ФЛ в разных зонах. Такую зональность можно наблюдать в пластинах, вырезанных в направлении <100>.

Для алмазов, содержащих большое количество включений (III разновидность, оболочки кристаллов IV разновидности, внешняя зона алмазов V разновидности) характерно наличие свечения в длинноволновой части спектра – оранжевое и красное.

При рентгеновском возбуждении в спектре РЛ алмазов наблюдается только широкая А-полоса с максимумом около 420 нм (алмазы типа Ia), 470 нм (алмазы типа Ia) и 520-570 нм (алмазы типа Ib) [2, 28, 20].

Аналогичная бесструктурная А-полоса присутствует в спектре КЛ с наложением системы узких линий, относящихся к общизвестным центрам N3, H3, H4, 575 нм, а также новыми центрами, связанными с конкретными ионно-имплантационными элементами [2].

## 2.7. Электрические и термические свойства алмаза

Исследования электронных свойств алмаза начались еще в 70-е годы XX века. Но по настоящему «алмазный бум» начался в этой отрасли в 1985-86 гг., когда в США и Японии появились сообщения о разработке алмазных микросхем для компьютеров (фирма Sumitomo Electric), о промышленном выпуске теплоотводов (она же) и акустических мембран на алмазных пленках (Sony).

Начиная с 1985г. Лаборатория Линкольна в Массачусетском технологическом институте последовательно сообщала о создании диода Шоттки, точечно-контактного транзистора на синтетическом алмазе и, наконец, СВЧ транзистора на природном алмазе.

В эти же годы были созданы лазеры на алмазе с излучением на P3 и N3 дефектах в видимой области спектра.

### 2.7.1. Электрические свойства алмаза

Практически все алмазы являются диэлектриками. Но они могут рассматриваться и как полупроводники с очень широкой запрещенной зоной (5,7 эВ). Расчетное удельное электрическое сопротивление идеального алмаза должно быть около  $10^{70}$  см·ом. Однако, фактическое сопротивление составляет  $10^{14} - 10^{16}$  см·ом – это является следствием наличия в алмазе различных примесей. Среди безазотных алмазов II типа по физической классификации встречаются кристаллы с удельным сопротивлением  $25 - 10^8$  см·ом. Такие алмазы были обнаружены Кастером еще в 1952г. и обозначены как тип IIb. К этому типу относятся голубые алмазы с примесью B<sup>3+</sup>. Это – полупроводники р-типа («дырочная» проводимость). Полупроводники н-типа (с электронной проводимостью) удается получить при имплантации в алмаз ионов Li<sup>+</sup>, C<sup>+</sup>, P<sup>+</sup> и последующего отжига при температуре 600°C [6].

Электропроводность алмаза зависит от температуры. Имеются три температурные области с разной зависимостью электропроводности от температуры:

- 1 – 340 – 480°C – экспоненциальная зависимость; величина энергии 1,6-2,4 эВ;
- 2 – 480 – 580-600°C – экспоненциальная зависимость, но энергия колеблется от 1,8 до 2,8 эВ;
- 3 – 580 – 700°C – экспоненциальной зависимости не наблюдается, характерный для всех кристаллов максимум появляется при 580-620° и при 680°C.

### 2.7.2. Фотопроводимость

В алмазе устанавливаются фототоки при освещении УФ с длиной волны 210-300 нм. При одновременном облучении инфракрасными и ультрафиолетовыми лучами фотопроводимость увеличивается почти вдвое. Максимальная фотопроводимость у алмазов разных типов вызывается лучами с разной длиной волны ( $\lambda$ ): у алмазов типа I  $\lambda=255-270$  нм; у алмазов типа II  $\lambda=225$  нм и второй максимум при более длинных волнах. Установлено, что фотопроводимость алмаза зависит от типа дефектов, имеющихся в алмазе и от их концентрации [21, 22]. При одинаковом напряжении смещения наиболее высокий фототок отмечается для алмазов типа Ia и для алмазов, содержащих дефекты B1 и B2 при пониженном содержании дефекта A. В общем случае, чем выше содержание A-дефекта, тем ниже фототок. В некоторых алмазах смешанного типа наблюдается широкий разброс значений фототока. В работе Г.Б.Бокия и др.[2] выявлены следующие закономерности:

- пик фотопроводимости вблизи края фундаментального поглощения наиболее ярко выражен в кристаллах с низким содержанием дефекта A, либо в кристаллах, где дефект A «компенсирован» дефектом B1;

- природные алмазы дают возможность широкого выбора спектральной характеристики исходя из конкретного применения, т.е. позволяют оптимизировать отношение сигнал/шум фоторезисторов одним только подбором сырья;

- абсолютные значения токовой чувствительности достаточно высоки.

Наличие фотопроводимости у алмазов позволяет использовать их в качестве кристаллических счетчиков.

Поскольку атомный номер углерода ( $Z=6$ ) близок к среднему атомному номеру живой ткани и воздуха представляет интерес использование алмаза как детектора ионизирующих излучений, в частности, в качестве дозиметров рентгеновского и  $\gamma$ -излучения в медицинской радиологии и биологии [5]. Алмазные дозиметры обладают высокой пороговой чувствительностью ( $1 \text{ мкР/сек}$ ), а их дозовая чувствительность до  $1,3 \cdot 10^{-14} \text{ А} \cdot \text{с}/\text{мкР}$  [3, 27]. При этом чувствительность алмазных детекторов к  $\gamma$ -излучению  $^{60}\text{Co}$  приблизительно в 300 раз выше, чем чувствительность ионизационной камеры (традиционно применяемой в медицине). Чувствительность алмазного дозиметра практически не зависит от угла падения излучения; дозовая чувствительность почти не зависит от энергии  $\gamma$ -излучения; после облучения электронами дозой  $2 \cdot 10^6$  рад чувствительность алмазного детектора снизилась не более чем на 7%, что свидетельствует о его высокой радиационной стойкости. Следует отметить следующие преимущества алмазных детекторов перед ионизационными камерами и кремневыми детекторами:

- алмазные детекторы тканеэквивалентны, имеют высокую чувствительность, обладают высоким быстродействием и малыми размерами;

- с помощью алмазных детекторов возможна регистрация мягкого и жесткого рентгеновского излучения, а также  $\gamma$ -излучения;

- алмазные детекторы могут использоваться в качестве погружных  $\alpha$ -счетчиков, здесь используется одно из основных достоинств алмаза – его химическая инертность [26].

Надежность работы погружного  $\alpha$ -счетчика проверялась в азотнокислых растворах  $^{239}\text{Pu}$  [3]. При непрерывном контакте алмазного детектора с этими растворами в течение 10 суток не было отмечено изменений его счетных свойств.

### 2.7.3. Термические свойства алмаза

Алмазы обладают высокой теплопроводностью, причем, чем ниже температура, тем выше теплопроводность алмаза. Наиболее высокая теплопроводность характерна для алмазов типа IIa (выше, чем у всех металлов, в том числе красной меди – металла с самой высокой теплопроводностью) [2, 37]. Коэффициент теплопроводности беспримесного алмаза при 320

и 450 К достигает величины  $\sim 20$  и  $\sim 13 \frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{град}}$ , соответственно, для меди эти значения не

превышает  $4-5 \frac{\text{Вт}}{\text{см} \cdot \text{град}}$ . Это уникальное свойство алмаза не могло не привлечь к себе внимания

при разработке различных электронных приборов, т.к. температурный режим работы электронных приборов – фактор, который в значительной мере определяет предельную мощность, допустимую для устойчивой работы. Размеры рабочего тела, а, следовательно, и активного слоя, в котором происходит теплоотделение не превышают нескольких микрон, в то время как выделение тепла на единицу площади может быть более  $10^5 \text{ Вт}/\text{см}^2$ , что делает очевидной необходимость использования теплоотводов из материала более теплопроводного, чем традиционно применяемая медь. Единственным материалом, теплопроводность которого в 5 раз выше, чем у меди, является алмаз. Промышленно выпускаемые теплоотводы имеют размеры 0,3 – 1мм, причем увеличение размера теплоотвода практически не увеличивает эффективность его действия. Влияние дефектов на теплопроводность алмаза исследовалось многими авторами. Для получения корректных результатов должны исследоваться алмазы «чистых» типов, содержащие только один дефект в различных количествах. Поскольку алмазы чистых типов довольно редки, эти исследования сталкиваются с проблемой отбора

алмазов. Тем не менее было установлено, что в присутствии А и В1 дефектов теплопроводность алмазов понижается, причем изменение концентрации В1 дефекта влияет на величину теплопроводности больше, чем изменение концентрации А дефекта. Дефекты В2 на величину теплопроводности существенного влияния не оказывают.

## 2.8. Механические свойства

**Твердость** – степень сопротивления механическому воздействию. Алмаз является самым твердым природным соединением. Его твердость по шкале Мооса равна 10. Однако он обладает анизотропией твердости, то есть твердость различных граней (соответствующих плоским сеткам с различной ретикулярной плотностью) неодинакова, и в каждой из граней имеются более твердые и мягкие направления. Это свойство очень важно учитывать как при обработке, так и при применении алмаза.

Плотность граней ромбододекаэдра, куба и октаэдра относится как 2,82:2,2,32. Однако плоские сетки октаэдра образуют блоки, состоящие из двух сближенных друг с другом сеток (рис. 2.86). Расстояние между ними намного меньше, чем как между самими блоками, так и между плоскими сетками ромбододекаэдра и куба.

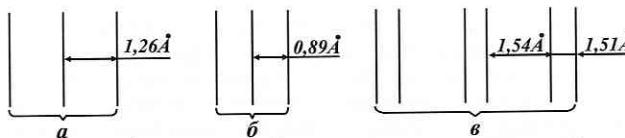


Рис. 2.86. Изображение сечений плоских сеток в структуре алмаза:  
а - ромбододекаэдр; б - куб; в - октаэдр

Таким образом эти спаренные сетки октаэдра представляют собой как бы одну плоскую сетку, но с удвоенной плотностью, а соотношение плоскостей ромбододекаэдра, куба и октаэдра приобретает следующие значения: 2,82:2:(2,32×2), или 1,41:1:2,32. Наименьшая плотность сетки куба (100) определяет ее наименьшую твердость.

**Анизотропия твердости** – то есть наличие «мягких» и «твёрдых» направлений внутри плоских сеток ромбододекаэдра, куба и октаэдра обусловлена расположением в них атомов углерода (рис. 2.87).

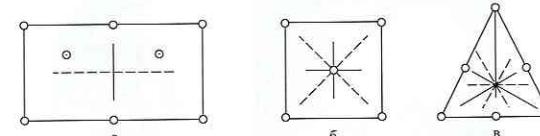


Рис. 2.87. Плоские сетки в структуре алмаза: а - ромбододекаэдр; б - куб; в - октаэдр.  
Сплошными линиями изображены «мягкие», пунктиром – «твёрдые» направления

**Прочность** – (способность сопротивляться разрушению), определяется внутренним строением и характером связей в кристаллах.

Теоретически рассчитанная прочность на сдвиг оценивается величиной 12 ГПа. Однако экспериментально полученные данные значительно отличаются от этих значений, что связано с влиянием на сопротивление дефектов поверхности. Экспериментально полученные значения прочности на сжатие находятся в достаточно широком диапазоне (в литературе [29] приводятся значения от 0,23 до 12,9 ГПа) и зависят от размера, формы, характера граней

кристаллов, наличия тех или иных механических дефектов, наличия и вида минералов – включений и др.

При воздействии на кристалл внешней растягивающей нагрузки расстояние между атомами увеличивается, что приводит к нарушению равновесного положения в кристалле. При этом возникают внутренние силы, стремящиеся вернуть атомы в первоначальное равновесное положение. Величина этих сил, рассчитанная на единицу площади поперечного сечения кристалла, называется **напряжением**. Деформация может быть обратимой, если полностью снимается при прекращении воздействия нагрузки – **упругая деформация**. Напряжение, выдерживаемое кристаллом, называется **пределом упругости**. Алмаз характеризуется очень высокой **упругостью**. Именно этим объясняется его способность «отпрыгивать» от поверхности различных материалов – бумаги, дерева, металлов и т.д.

При увеличении нагрузки растут внутренние напряжения. И при достижении характерного для каждого материала предела кристалл либо разрушается (у хрупких материалов), либо в нем возникают остаточные, не исчезающие после снятия нагрузки, **пластические деформации**.

**Хрупкость.** Хрупкое разрушение кристаллов алмаза происходит в условиях невысоких температур ( $T < 0,3T_{\text{пл}}$ ). Экспериментальные работы показали большой разброс значений хрупкой прочности, что связано с наличием и концентрацией в структуре напряженных участков, дефектов структуры, анизотропией механических свойств в различных кристаллографических направлениях, температуры и других факторов.

**Пластические деформации.** При пластической деформации одна часть структуры смещается без разрыва относительно другой, параллельно определенным плоским сеткам. **Деформация**, при которой ориентация смещенных частей кристалла сохраняется, называется **скольжением**. Плоскость, по которой происходит смещение, называется **плоскостью скольжения**. Пластические деформации в кристаллах алмаза в макрообъеме проявляются лишь при достаточно высоких температурах для алмазов, относящихся к различным типам физической классификации, при температурах от 1873К до 2073К. В алмазах пластические деформации распространены очень широко [36, 38].

При пластической деформации кристаллов алмаза скольжение происходит по плоскости  $\{111\}$  в направлении  $<110>$  с поворотом решетки на  $2\text{--}3^\circ$  вокруг оси поворота, совпадающей с направлением  $<112>$ . В кристаллах алмаза может наблюдаться до четырех систем плоскостей скольжения. Пересечение плоскостей скольжения с поверхностью кристаллов называется **линиями скольжения** (рис. 2.54, 2.59, 2.88).

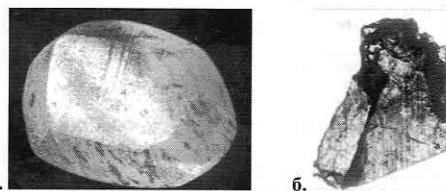


Рис. 2. 88. Линии скольжения в кристаллах алмаза I разновидности:  
а – додекаэдроид уральского типа с одной системой линий скольжения и зелеными пятнами пигментации; б – обломок алмаза с одной системой линий скольжения

Нарушение структуры кристаллов в процессе пластических деформаций приводит к появлению в ней различных дефектных (и дефектно-примесных) центров, влияющих на физические свойства алмаза (механические, окраску, люминесценцию и др.).

**Трение и износ.** Алмаз обладает низкой величиной коэффициента трения, при этом существенной разницы между статическим и динамическим трением не наблюдается. Низкий коэффициент трения, не зависящий от чистоты трущихся поверхностей, определяет очень вы-

сокую износостойкость алмаза, в сотни и, и даже тысячи раз, превышающую износостойкость других абразивных материалов.

С другой стороны имеется анизотропия коэффициента трения, а следовательно и износостойкости, в различных кристаллографических направлениях.

**Спайность и излом.** Спайность – это способность кристаллов раскалываться под воздействием внешних сил по определенным плоскостям (плоскостям спайности), параллельным действительным или возможным граням, соответствующим сеткам с наибольшей ретикулярной плотностью и находящимся на наибольшем расстоянии друг от друга. В алмазе, как это было показано выше, таким условиям удовлетворяют плоскости октаэдра, поэтому алмаз имеет **совершенную спайность** по октаэдру, то есть **плоскость спайности** в алмазе параллельна (111).

Поверхность скола по спайности ровная (рис. 2.89а), но, как правило, она не является идеально ровной: часто на ней наблюдается характерная веерообразная штриховка из-за микроступенчатого строения этих плоскостей. Изломы на кристаллах алмаза, не совпадающие с плоскостями спайности, неровные и даже иногда раковистые (рис. 2.89б). Излом на кристаллах алмаза III разновидности и оболочки IV разновидности занозистый шероховатый из-за их столбчатого строения, а у алмазов VI разновидности (балласов) – радиально-лучистый.

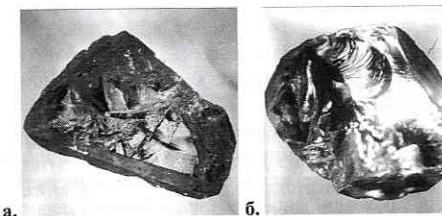


Рис. 2.89. Поверхность механических сколов на алмазах: а – ровная по плоскости спайности; б – раковистый излом

Подобный характер изломов наблюдается на сколах алмазов или обломков, образовавшихся при механическом воздействии, природном или техногенном. При этом поверхности техногенных механических сколов (возникших при добыче или обогащении алмазов) более свежие, чем природных сколов. Техногенные сколы имеют сильный или наоборот матовый (из-за «сахаристой» разрушенной поверхности) блеск. На них часто наблюдается большое количество приповерхностных трещин, иногда имеющих отлив, напоминающий масляные пятна на воде. Они имеют острые края и выступающие фрагменты на поверхности. В то время как блеск природных механических сколов жирный или матовый. Их поверхность более ровная, без приповерхностных трещин, с несколько округленными краями.



Рис. 2.90. Поверхность протомагматического скола алмаза

Поверхность нарушенных алмазов и обломков может иметь и иной характер – скульптурированный (рис. 2.90).

Такие природные сколы образуются при распиливании кристаллов каналами травления, и А.А. Кухаренко их назвал протомагматическими.

**Плотность** ( $\rho$ ) является фундаментальным физическим свойством. Это масса единицы объема вещества ( $\text{г}/\text{см}^3$ ). Значение плотности может меняться с изменением температуры и давления.

Теоретическая плотность алмаза  $\rho=3,515\text{г}/\text{см}^3$ . Плотность реальных алмазов может несколько отличаться от теоретической, что связано со степенью совершенства структуры, наличия дефектов, содержания минералов-включений и т.д.

Самая низкая плотность среди природных алмазов наблюдается у скрыто-кристаллических разновидностей - карбонадо и импактных алмазов –  $3,44\text{ г}/\text{см}^3$  и даже ниже.

## 2.9. Включения в алмазах

О наличии включений в алмазах сообщалось в литературе еще в 17 веке (Evelyn). Внимание исследователей привлекалось и привлекается к ним по настоящее время, в связи с тем, что изучение их химического состава и физических свойств позволяют делать выводы о физико-химических условиях, при которых происходило образование минералов-включений, значит, и образование алмазов, содержащих их, а следовательно строить модели образования алмаза и кимберлитов, дают информацию о верхней мантии.

Наличие включений и влияние их на структуру, а, следовательно, и свойства алмаза, определяет их применение, обработку, и следовательно, положение алмазов в классификаторе алмазного сырья.

Минеральные включения [86] встречаются в алмазах любого размера и качества: от микрональмазов -  $<1\text{мм}$  [18] до особо крупных алмазов массой в десятки и сотни карат [58], и в поликристаллических агрегатах алмаза [38].

Протогенетические (то есть образовавшиеся до зарождения алмаза) и сингенетические (образовавшиеся одновременно с ним) минералы- включения в алмазах имеют химический состав и физические свойства такие же, как и аналогичные минералы из ксенолитов глубинных мантийных ультраосновных или основных (эклогитовых) пород и соответственно отнесены [53, 54, 55, 57, 77, 78, 87, 88, 89, 97, 11, 4, 92] к ультраосновному или основному (эклогитовому) парагенезису.

К протогенетическим и/или сингенетическим включениям ультраосновного парагенезиса отнесены: оливин, энстатит, диопсид, Cr-пироп, хромшпинелид, Mg-ильменит, сульфиды, циркон, алмаз, самородное железо, карбид кремния.

К протогенетическим и/или сингенетическим включениям основного (эклогитового) парагенезиса отнесены: омфацит, пироп-альмандин, кианит, санидин, коэсит, рутил, рубин, ильменит, хромит, сульфиды, алмаз.

Ряд авторов [93] выделяет также минералы-включения в алмазе – включения фазы нижней мантии, такие как  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{MgSiO}_3$ , ферропериклаз, стишовит и др.

В качестве эпигенетических (то есть образовавшихся позже алмаза) включений в алмазах указываются: серпентин, кальцит (ряд авторов считает возможным присутствие и сингенетического кальцита), графит, гематит, каолинит, акмит, риухерит, перовскит, Mn-ильменит, шпинель, ксенотит, гетит.

Кроме того, некоторыми авторами в виде включений (чаще всего описываемыми как включения неясного парагенезиса) указывались также кварц, пирит, биотит, флогопит, мусковит, амфиболы, топаз, золото,  $\text{CO}_2$  (газ/жидкость) [44, 96].

При исследовании микровключений в якутских алмазах методами аналитической электронной микроскопии были установлены (помимо ранее описанного самородного железа [56], самородное  $\alpha$ -Fe, Pt, Pb, Ta, интерметаллиды Fe-Cr-Ni, Fe-Ni-Cu, кальцит, магнетит, сульфид железа FeS, халькозин  $\text{Cu}_2\text{S}$ , сульфиды Fe-Cu-Ni-Co и др [13, 14, 63].

Включения алмаза (рис. 2.91) представлены обычно мелкими плоскогранными кристалликами. В связи с равенством показателя преломления, включенные кристаллики алмаза видны нечетко. Хорошо видны обычно те ребра и грани, которые затемнены дымчатой или

черной пленкой графита. Включения кристалликов алмаза имеют характерный вид и хорошо идентифицируются.



Рис. 2.91. Включения алмаза

Включения гранатов довольно хорошо различаются в алмазах. Они имеют лиловую (рис. 2.92а) либо оранжевую (рис. 2.92б) окраску. Иногда встречаются окрашенные в лиловый цвет гранаты (при искусственном освещении), меняющие цвет на зеленовато-серый (при естественном освещении). Выделения обычно в виде зерен искаженной или неправильной формы. Гранаты легко освобождаются при дроблении алмазов.

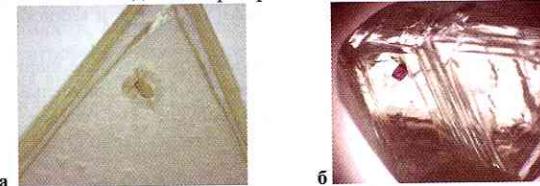


Рис. 2.92. Включения гранатов: а-лилового цвета; б-оранжевого цвета

Лилово-красные гранаты, относимые к ультраосновному парагенезису, как и гранаты из ксенолитов глубинных ультраосновных пород, представлены пиропом  $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$  с высоким содержанием примеси Cr (содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  6,1-15,8%), входящей в состав кноррингитовой молекулы  $\text{Mg}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$  (ее содержание отмечается в количестве 17,1-46,1%) [53].

Эти гранаты отличаются также очень высоким содержанием  $\text{MgO}$  (24 $_{\text{масс}}\%$ ) и низким содержанием  $\text{CaO}$  (от 0 до 6 $_{\text{масс}}\%$ ),  $\text{FeO}$  (от 5 до 8 $_{\text{масс}}\%$ ),  $\text{TiO}_2$  (0–0,7 $_{\text{масс}}\%$ ) [89].

В то время как оранжевые гранаты, относимые к основному (эклогитовому) парагенезису, как и гранаты из ксенолитов глубинных эклогитов, характеризуются отсутствием примеси хрома, повышенной железистостью, достигающей 60-65%, и примесью кальциевого компонента в пределах 10 – 40% мол. По своему составу они относятся к пироп-альмандинам [57].

Включения оливина являются самыми распространенными в алмазе. Как правило, это бесцветные кристаллы различного размера (до 0,5-1мм), внешне очень разнообразной формы (рис. 2.93): удлиненные, изометричные и др. Иногда наблюдаются параллельные и коленчатые сростки. В поляризационном микроскопе при скрещенных николях оливины имеют высокие цвета интерференции. Вокруг включений обычно наблюдаются узоры двупреломления.

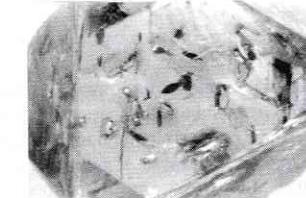


Рис. 2.93. Включения оливина

По составу оливин представлен магнезиальной разностью (содержание форстеритовой молекулы  $Mg_2[SiO_4]$  – 91–95%). Часто в нем отмечается высокое содержание примеси Cr ( $Cr_2O_3$  до 0,1%), как и в оливине из ксенолитов ультраосновных пород.

Энстатит  $Mg_2[Si_2O_6]$  в виде включения в алмазах встречается более редко, чем оливин или гранат. Форма включений изометрична или искаженная. Энстатит – бесцветное включение, но более крупные выделения имеют легкий бледно-зеленый оттенок. Под микроскопом, как и у оливина, при скрещенных николях наблюдаются яркие цвета интерференционной окраски. Энстатит часто образует эпигранатовые срастания с алмазом, поэтому извлечь его весьма сложно (только при сжигании алмаза).

Клинопироксен – в виде включений в алмазе встречается довольно редко, кроме южноафриканских алмазов из трубы «Премьер», большинство включений клинопироксена идиоморфные, бледно-зеленого цвета.

В результате химического анализа включений клинопироксенов выявлено наличие двух групп. Одна группа по химическому составу соответствует диопсиду  $CaMg[Si_2O_6]$ . Для этих включений, как и для клинопироксенов из ксенолитов ультраосновных пород, характерно высокое содержание Mg, Ca и часто Cr (хромдиопсид). Другая группа клинопироксенов по составу и свойствам представлена омфацитом  $NaAl[Si_2O_6]$ , как и клинопироксены из ксенолитов глубинных эклогитов.

Включения хромшпинелидов имеют правильную форму – в виде шариков, капель, гантелец и др. Цвет черный, часто хромшпинелиды ориентированы параллельно структуре алмаза, либо повернуты относительно нее на несколько градусов. По составу они соответствуют хромпикотиту  $(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$ , как и хромшпинелиды из ксенолитов ультраосновных пород.

Включения коэсита ( $SiO_2$ ) – бесцветные, хорошо ограниченные, с низкими цветами интерференции в скрещенных николях. Коэсит отмечается также в ксенолитах глубинных эклогитов.

Рутил ( $TiO_2$ ) встречается в виде кристаллов красновато-коричневого цвета, непрозрачных или полупрозрачных, удлиненной формы.

Включения кианита  $Al_2O[SiO_4]$  в алмазе имеют от светло-голубого до синего цвет, размер до 1мм. Кианит встречается также в ксенолитах глубинных эклогитов.



Рис. 2.94. Включения сульфидов и оливина (в отраженном свете)

**Мельчайшие включения сульфидов** (пирротина  $Fe_{1-x}S$ , пентландита  $(Fe,Ni)_9S_8$ , пирита  $FeS_2$ , халькопирита  $CuFeS_2$ ) в алмазах имеют черный цвет (цвет минерала в порошке) и их часто находят в дискообразных трещинах, часто расположенных вокруг включений оливина (рис. 2.94). Трещины не доходят до поверхности алмаза. Сульфиды являются одними из наиболее распространенных включений в алмазе.

Наиболее часто включения сульфидов в алмазах встречаются не в виде мономинеральных, а в ассоциации с другими минералами, например: пирротин + пентландит ± халькопирит, пентландит + магнетит ± пирротин, сульфиды + оливин, сульфиды + самородное Fe и др. [88, 89, 57].

Включения графита встречаются в монокристаллах алмаза в основном в виде тонкого поверхностного слоя по плоскостям спайности и иногда вокруг включений алмаза.

В алмазах преобладают мономинеральные включения, однако встречаются также сростки, состоящие из двух, трёх и даже четырёх минералов. Примерами типичных парагенезисов полиминеральных включений в алмазах могут служить следующие: для ультраосновного парагенезиса – пироп + хромит, оливин + хромит, энстатит + диопсид, оливин + диопсид, пироп + диопсид, пироп + энстатит, пироп + энстатит + хромит, пироп + энстатит + оливин, пироп + оливин + хромит, оливин + пироп + энстатит + хромит и др.; для основного парагенезиса – гранат + омфацит, гранат + сульфиды, омфацит + сульфиды, гранат + коэсит, коэсит + сульфиды и др. [57].

## ГЛАВА III. ПРОМЫШЛЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АЛМАЗНОГО СЫРЬЯ

### 3.1. История создания классификации по сортировке алмазного сырья

До начала 90-х годов нашего столетия алмазного рынка в России как такового не существовало, практиковались лишь отдельные операции. Их проводили несколько государственных организаций: добычу в Якутии и на Урале осуществляли тресты «Якутальмаз» и «Уралалмаз», заводы системы «Кристалл» ганили некоторые категории алмазов, в Гохране было организовано централизованное хранение драгоценных камней, а экспорт сырых и ограненных самоцветов ограниченному кругу международных дилеров осуществляло внешнеэкономическое объединение «Алмазовэлэкспорт».

Лишь в 1991г. после выхода Указа Президента РФ №214 началось развитие внутреннего алмазного рынка по образу и подобию международного. Этот процесс идет с двух сторон.

«Снизу» действуют предприниматели, а «сверху» – уполномоченные госорганы: Комитет Российской Федерации по драгоценным металлам и драгоценным камням (Роскомдрагмет) до упразднения 30ноября 1996г., Министерство финансов Российской Федерации, Министерство промышленности, Министерство природных ресурсов, Центральный банк Российской Федерации (Центрбанк). Именно президент России и правительство поручили создать условия для развития внутреннего рынка драгоценных металлов и драгоценных камней. Государство стремится повысить эффективность операций с драгоценными камнями, в первую очередь алмазной отрасли. Для этого нужно переориентироваться с сырьевого экспорта на глубокую переработку драгоценного сырья и создать полноценную систему тогово-посреднических, в том числе и экспортных операций. Усилия государственных органов направлены на создание адекватной правовой базы и разумной системы государственного контроля.

Россия обладает достаточными минеральными и техническими ресурсами для равноправной интеграции в мировой алмазный рынок. Однако на этом пути существуют две группы препятствий – внешние и внутренние.

Внешние препятствия связаны с историческими особенностями мирового алмазного хозяйства. В сырьевом секторе тон задает монополия De Beers, которая активно отстаивает свои привилегии и монопольную сверх прибыль. Среди большинства алмазных предпринимателей сильна корпоративность. Они самыми разными способами защищают свою клиенттуру и деловую информацию. Мировой алмазный рынок в целом отличается ярко выраженной закрытостью информации.

Внутренние препятствия заключаются в том, что законодательственная база несовершенна, отсутствует современная инфраструктура «драгоценного» бизнеса, не хватает национальных специалистов международного уровня по таким специальностям, как алмазный маркетинг, дистрибутерство алмазного сырья и бриллиантов, банковское обслуживание операций с алмазами, страхование предпринимательских рисков в алмазном бизнесе.

Как товар, все драгоценные камни, и в первую очередь ювелирные алмазы, имеют ряд особенностей.

Во-первых, спрос на них стабилен.

Во-вторых, алмазы долговечны. Их покупают на всю жизнь и передают от поколения к поколению. Это может показаться удивительным, но современный рынок алмазов является самым устойчивым и стабильным из всех известных рынков потребительских товаров.

Высокие и стабильные цены на алмазы объясняются двумя причинами. Во-первых, эти камни сравнительно редки и обладают высокими эстетическими свойствами. Долгие века алмаз выступал общепризнанным атрибутом высокого социального статуса владельца.

Вторая причина стабильности алмазного рынка – исторически сложившаяся система регулирования поставок алмазного сырья на мировой рынок. С течением лет менялись только формы регулирования. Последние 60 лет этим в основном занималась алмазная монополия De Beers.

Наряду с общественно-психологическими характеристиками драгоценных камней их товарные свойства основаны также на уникальных физико-химических свойствах.

Ювелирный алмаз - один из самых редких минералов.

Алмазы добывают из очень бедных руд, в которых соотношение пустой породы к минералу составляет миллион к одному. Поэтому мировая добыча сравнительно невелика - около 10 тонн ювелирных алмазов в год (для сравнения ежегодно в мире добывают около 2,5 тыс. тонн золота) и цена на эти драгоценные камни очень высока: типичный бриллиант среднего качества массой 1 карат стоит 4000\$ (золото 12-20 \$ за грамм). В Европе, вплоть до второй половины XIX века, каких-либо системных знаний по оценке алмазов не существовало. Основными критериями в оценке были чистота, цвет, размер, а с открытием Людвигом Беркеном в 1454 году искусства шлифовки алмаза - и качество огранки.

В конце XIX века в связи с открытием крупнейших алмазных месторождений в Бразилии и Южной Африке, выбросом на мировой рынок огромного количества сырьевых алмазов и накоплением общирных знаний по огранке, торговцы алмазами стали пытаться применять в оценке уже определенный набор классификационных признаков. В то время наиболее стройной и удобной была система, которую использовали торговцы алмазами в Кимберли. Они делили алмазы по форме, цвету, чистоте и размеру. Так по форме выделялись октаэдры правильные и скосленные, додекаэдры, двойники, зернистые массы и т.д. При определении цвета стали широко использоваться эталонные или "пробирные" камни. Цвет, а иногда и оттенок обозначались определенными названиями: белый (white), капский белый (Cape white) и желтый (yellow) и др. Чистота камня определялась по степени сложности его будущей обработки. Цена камней выше 1 карата вычислялась перемножением квадрата массы камня в каратах, на условную цену алмаза в 1 карат такого же качества, т. е. данного сорта.

С развитием торговли происходила детализация классификаций алмазов и ее упорядочение. Это заметно по такому параметру, как число различаемых разновидностей алмазов. В XVIII в. алмазы подразделяли на 20-30 категорий, в XIX в. - на 100-200, а в XX в. их число возросло до 6-5 тысяч.

Продавцам алмазов в то время приходилось иметь дело с сотнями, тысячами и даже десятками тысяч карат сырья. Такое обилие сырья на рынке вызвало необходимость появления единых правил поведения и торговли на рынке. Это стало возможным лишь после создания компаний "Де Бирс" и монополизацией ей всего алмазного рынка в 30-40-х годах XX века. Трест как главный алмазный монополист (до 80% рынка) ввел единые правила продажи (ежегодные сайты, алмазные биржи и т. д.) и оценки алмазного сырья, которые существуют и поныне.

Сейчас на алмазном рынке "законодателем мод" являются две организации Синдиката:

"Даймонд Трейдинг Компани" (DTC) - закупка сырья у продуцентов, сортировка и оценка алмазов;

Центральная Сбытовая организация (CSO) - подготовка продажных "боксов" к сайтам и их реализация.

В СССР со времени открытия алмазных месторождений и вплоть до второй половины 80-х годов существовало 2 классификации алмазного сырья:

1. ВНУТРЕННЯЯ - так называемые "Технические условия", разработанные в 60-х годах, основанные на дальнейшем практическом использовании алмазов;

2. ТОРГОВАЯ - в ее основу была положена коммерческая классификация Центральной сбытовой организации (ЦСО) Алмазного синдиката "Де Бирс", или как ее еще называют - классификатор "City" (по первому слову в названии дочерней фирмы City&West&East Ltd., через которую велась торговля с СССР, а после 1991 г. - с Россией), а с 1995 г. - международной классификацией. С конца 80-х, начала 90-х годов на сортировочных производствах стали отказываться от применения ТУ и вводить единую систему сортировки по "City", что значительно активизировало алмазный рынок в СССР (России). Сейчас таким образом продаются

сырье не только на внешнем, но и на внутреннем алмазном рынке Единой Сбытовой Организацией АК "АЛРОСА".

### 3.2. Технические условия ТУ 47-2-73 на алмазное сырье

Классификация алмазного сырья в бывшем СССР несколько отличалась от международной и определялась техническими условиями, введенными с 1 января 1975 года. Чтобы правильно определить наиболее оптимальную структуру ассортимента экспортных алмазов и сопоставить с международной классификацией алмазов, ниже приводится в общих чертах описание внутрисоюзной классификации. Алмазное сырье должно соответствовать требованиям настоящих технических условий.

Алмазное сырье в зависимости от видов и назначения классифицируется на 9 категорий:

1. Алмазы ювелирные
2. Алмазы светлые пониженного качества для ювелирных целей
3. Алмазы технические для инструментов из кристаллов алмаза
4. Алмазы технические для бурового инструмента и алмазных карандашей
5. Алмазы технические пониженного качества и для предварительной обработки
6. Алмазные концентраты
7. Алмазы для специальных целей
8. Алмазы технические, предварительно обработанные для инструментов из кристаллов алмаза
9. Алмазы овализованные и дробленые

Из девяти категорий в ювелирных целях используются главным образом алмазы первой и второй категорий.

Каждая категория алмазной продукции подразделяется на группы и подгруппы. Группы алмазного сырья первой категории определяют размерность кристаллов алмазов, а подгруппы - форму кристаллов. Группы алмазного сырья второй - девятой категорий определяют его применение, подгруппы - конкретное целевое назначение.

Ассортимент экспорта алмазов представлен в основном алмазами первой и второй категорий. Размерность алмазного сырья в этих категориях выражается так же, как и международной классификации, в каратах и условными ситовыми классами.

В целом размерность алмазного сырья в зависимости от конкретного назначения выражается:

Весовыми группами, в каратах  
Штуками алмазных зерен на 1 карат

Ситовыми классами в мм, определяющимися следующими размерами отверстий сит  
Условными ситовыми классами, определяющимися номерами сит с размерами отверстий в мм (Табл.3.1).

В отдельных случаях измерение мелких частиц алмазов производится в микронах.

Алмазы первой категории в зависимости от их размера подразделяются на три группы:

1. Первая группа представлена алмазами условных ситовых классов -9+3. Сюда входят различные по форме алмазы: целые кристаллы, гладкогранные, округлые и со ступенчатостью, обломки кристаллов и шпинелевые двойники. Степень дефектности алмазов первой группы незначительная, сюда включаются чистые, с небольшими дефектами или единичными большими дефектами алмазы (то есть высших и средних качественных характеристик).

2. Вторая группа представлена алмазами условных ситовых классов -13+9. Группа состоит из трех подгрупп. Подгруппа «А» представлена целыми кристаллами правильной формы, допускаются небольшие искажения и ступенчатость. Подгруппа «Б» представлена изометричными обломками гладкогранных кристаллов и кристаллов с небольшой ступенчатостью и вростками. Подгруппа «В» - целыми кристаллами, сильно искаженными и шпинелевыми двойниками. По качественному составу группа также представлена алмазами высоких и средних качественных характеристик.

**Табл.3.1. Распределение алмазов по классам крупности в зависимости от ситовых характеристик**

№ сита	Размер отверстия сита в мм	Условный ситовой класс
		-3
3	1,47	-5+3
5	1,82	-6+5
6	2,15	-7+6
7	2,46	-9+7
9	2,84	-11+9
11	3,45	-12+11
12	4,09	-13+12
13	4,52	-21+13
21	7,93	-23+21
23	10,31	+23

3. Третья группа включает алмазы весовых групп от 1 до 20 карат. По форме алмазов выделяются пять подгрупп. Подгруппа «А» представлена целыми кристаллами алмазов, правильной формы и с небольшой ступенчатостью или незначительным искажением. Подгруппа «Б» состоит из целых кристаллов алмазов с большей степенью искажения и ступенчатости. Подгруппа «В» представлена целыми кристаллами алмазов с резкой ступенчатостью и изометричными обломками гладкограных и ступенчатых кристаллов, с вrostками. Подгруппа «Г» включает целые, сильно уплощенные кристаллы алмазов и их обломки. По качественному составу алмазы третьей группы представлены сырьем высоких и средних качественных характеристик.

Во второй категории алмазного сырья выделяется одна группа – четвертая, которая представлена алмазами условных ситовых классов -23+3 (то есть включает все размерные группы, которые имеются в первой категории). В зависимости от формы алмазов выделяются подгруппы «А» и «В» , представленные целыми кристаллами, гладкогранными, округлыми и с резкой ступенчатостью, и подгруппы «Б» и «Д» , представленные изометричными обломками гладкогранных и резкоступенчатых кристаллов, шпинелевыми двойниками их обломками, кристаллами с вrostками, искаженными обломками, искаженными шпинелевыми двойниками и их обломками. По качественному составу в последнюю группу входят ювелирные алмазы низших качественных характеристик и колононелирные алмазы, для которых характеристика высокая степень графитизации и трещиноватости.

Основными кристаллографическими формами алмаза являются октаэдр, ромбододекаэдр, куб, октаэдроид, додекаэроид.

Кристаллы алмаза образуют закономерные сростки, параллельные и по шпинелевому зону (шпинелевые двойники).

Остальные сростки кристаллов алмаза называются незакономерными.

Кристаллы природного алмаза по степени искажения формы подразделяются на следующие разновидности (Табл.3.2).

Кристаллы алмаза в зависимости от их целостности подразделяются на целые кристаллы и обломки.

К целым кристаллам относятся неповрежденные кристаллы, а также кристаллы, отколотые не более чем на 1/3 исходного объема при условии, что эти сколы не сильно искажают первоначальную форму кристалла.

Под обломком кристалла понимается часть кристалла, составляющая менее  $\frac{2}{3}$  его исходного объема.

В кристаллах алмаза различают три зоны:

центральную,  
промежуточную  
периферийную

Все три зоны имеют приблизительно одинаковую толщину.

**Табл.3.2.Характеристика алмазов по степени искажения**

Характеристика по форме	Отношение размеров по осям наибольшего искажения
кристаллы правильной формы	1 : 1
кристаллы с незначительным искажением формы	1 : 1,2
кристаллы с небольшим искажением формы	1 : 2
кристаллы искаженной формы	1 : 3
кристаллы сильно искаженной формы	1 : 4

Кристаллы алмаза в зависимости от характера поверхности граней (рельефности) подразделяются на:

кристаллы с гладкими гранями;  
кристаллы с незначительной ступенчатостью;  
кристаллы с небольшой ступенчатостью;  
кристаллы ступенчатые;  
кристаллы с резкой ступенчатостью.

Характер ступенчатости кристаллов алмаза определен утвержденными эталонными образцами по каждому назначению алмазного сырья.

Алмазное сырье каждого целевого назначения в зависимости от характера и степени дефектности подразделяется на качества.

Дефектность (качество) – оцениваются число, характер и местоположение дефектов в камне. Дефектами в алмазах являются включения других минералов и трещинки, скрытые или выходящие из глубины камня на поверхность, следы травления и сколы различного происхождения.

Устанавливается следующая характеристика кристаллов алмаза по качеству:

- алмазы чистые (без дефектов);
- алмазы с незначительными дефектами;
- алмазы с небольшими дефектами;
- алмазы с большими дефектами;
- алмазы с очень большими дефектами.

Степень дефектности алмазов определена утвержденными эталонными образцами по каждому назначению алмазного сырья.

После сортировки по дефектности проводится классификация камней по цвету и его интенсивности.

Алмазы, в зависимости от интенсивности окраски и оттенков цвета подразделяются на:

- алмазы бесцветные;
- алмазы с незначительным нацветом;
- алмазы с небольшим нацветом;
- алмазы с нацветом;
- алмазы цветные, с выраженным нацветом в объеме камня;
- алмазы цветные, с ярко выраженным нацветом в объеме камня;
- алмазы цветные, с густой окраской в объеме камня;
- алмазы коричневые, с незначительным оттенком в объеме камня;
- алмазы коричневые, с небольшим оттенком в объеме камня;
- алмазы темно-коричневые.

Принимаются следующие сокращения при обозначении цвета алмазов.

Например:

бесцветные, с незначительным, с небольшим нацветом—(1-й цвет);

коричневые — (1-й коричневый) и т. д.

Цвет алмазов, относимых ко второй категории, имеет условные обозначения:

- I-й серый,
- II-й серый,
- III-й серый.

Цвет и оттенок алмазов определяется визуально при естественном освещении в помещении, через окна которого не падает прямой солнечный свет, при сравнении с утвержденными эталонными образцами.

Цвет и оттенок алмазов определяется на фоне белой бумаги, в качестве которой используется фотоподложка — основа (ГОСТ 2635—68).

Кристаллы алмаза, в зависимости от их промышленности в объеме, подразделяются на прозрачные, полупрозрачные и непрозрачные. Степень прозрачности определяется утвержденными эталонными образцами по каждому назначению алмазного сырья.

Определение массы алмазного сырья производится путем взвешивания на электронных весах. Взвешивание производится с точностью до 0,01 карата.

### 3.3. Торговая классификация алмазного сырья

Торговая классификация алмазов в первую очередь, подстраивается к конъюнктуре, обусловленной модой и уровнем технологии огранки алмазов в бриллианты. В международных операциях с необработанными алмазами действуют разные классификации, разработанные крупными дилерами алмазов. Наибольшее число сделок совершается в рамках классификации De Beers. Она периодически корректировалась и расширялась в связи с введением в действие новых месторождений алмазов и развитием технологии огранки. Применительно к алмазам российских месторождений De Beers разработал и практикует до настоящего времени так называемую «Классификацию City».

В настоящее время при экспорте необработанных российских алмазов компании De Beers применяют так называемый оптовый "Русский прейскурант ЦСО".

Действующая в настоящее время в Российской Федерации классификация алмазного сырья используется с 1989 года и базируется на классификации, использовавшейся в торговле с транснациональной Корпорацией "De Бирс". Используемые сегодня образцы АК "АЛРОСА" были тиражированы на основании образца «Сити энд Вест Ист Лтд» в 1988 году. В 1997 году классификация низкосортных алмазов была расширена дополнительными цветами и качествами, соответственно были внесены корректировки в образец. Указанные образцы соответствуют общероссийскому Классификатору алмазов природных К47-01-92 и с момента ее введения не претерпели существенных изменений. Компания "De Бирс" с 1988 года активно занималась совершенствованием классификации, улучшением структуры образца DTC, ее адаптацией к меняющимся рыночным условиям и потребностям производителей бриллиантов. За этот период DTC последовательно меняла классификацию и, соответственно, образец, 3 раза (в марте 1997г., в августе 1998г., в декабре 2000г.). При этом проводилась тенденция максимального приближения классификации к запросам покупателей "сырьевых" алмазов. Применяемая сегодня DTC классификация является базовой для всего мирового алмазно-бриллиантового комплекса и содержит порядка 12 тысяч позиций в сравнении с 8 тысячами в классификации АК "АЛРОСА". Условия последнего Торгового Соглашения с "De Бирс" предполагали разработку и внедрение сторонами нового образца АК "АЛРОСА". К сожалению, осуществить эту работу не удалось в связи с проблемами вывоза массива для образцов, подготовленного АК "АЛРОСА", для работы в г. Лондоне и явного нежелания руководства "De Бирс" делиться своими разработками в этой области. Кроме того, взаимоотношениями АК "АЛРОСА" и "De Бирс" активно занимается Европейская Комиссия с точки зрения соответствия Торгового Соглашения требованиям антимонопольного законодательства Европейского Союза. В период подготовки Торгового Соглашения и в настоящее время компания "De Бирс" настаивала и продолжает настаивать на том постулате, что работа по приведению

в соответствие российских образцов "De Бирс" напрямую противоречит требованиям антимонопольного законодательства Европейского Союза и может быть расценена как спор между АК "АЛРОСА" и "De Бирс", наносящий ущерб другим участникам рынка. Начиная с 2000 года, эксперты АК "АЛРОСА" ведут разработку независимой классификации алмазного сырья. В основу базовых принципов подготовки новой классификации легли многолетний опыт оценки и реализации алмазов на внутреннем и внешнем рынках и частичный опыт знакомства с новой классификацией и образцами DTC.

Основным принципом, заложенным в разработку новой классификации, был принят принцип повышения технологичности, то есть классификация алмазов должна быть приближена к технологической сортировке производителей бриллиантов. Это выражается в более дробной классификации алмазов с высокими качественно-цветовыми характеристиками, прежде всего с учетом таких факторов как выход годного, форма будущих бриллиантов, технология обработки и т.д.

Введение новой классификации, образцов алмазов и прейскуранта расчетных цен создаст базу для качественного планирования эффективной деятельности гравильных предприятий — клиентов АК "АЛРОСА" на стадии приобретения алмазного сырья, что в перспективе позволит расширить ёмкость и ликвидность внутреннего рынка. Кроме того, это не только положительно скажется на эффективности сбыта основной продукции АК "АЛРОСА" и упростит контроль текущего уровня цен и тенденций их изменения, но и подтвердит статус АК "АЛРОСА" как центра роста отечественного алмазно-бриллиантового комплекса.

### 3.4. Промышленная классификация оценки алмазного сырья

Данная классификация разработана Техническим комитетом по стандартизации ТК 408 «Необработанные природные алмазы», Всероссийским научно-исследовательским институтом стандартизации (ВНИИ-стандарт), Гохраном России, «ЕСО АЛРОСА», Смоленским ПО «Кристалл», утверждена и введена в действие Постановлением Госстандарта России от 28 декабря 1998г. №776-ст. и Постановлением № 777-ст. Госстандарта России от 28 декабря 1999г. В настоящем стандарте ГОСТ Р 51519.1-99 и ГОСТ Р 51519.2-99 реализованы нормы Федерального закона «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» (№41 —ФЗ от 26 марта 1998г.). Классификация используется для оценки необработанных, рекуперированных алмазов и отходов алмазного производства. Она учитывает природные свойства и особенности алмаза, а также, что самое главное, варианты дальнейшего его использования. Следует отметить, что особенности данной классификации используются, в основном, для российских сортировочных организаций, которая изначально разработана Центральной сбытовой организацией (ЦСО) Алмазного Синдиката "De Бирс" и отвечает требованиям мирового рынка алмазов и основных гравильных центров (США, Бельгия, Израиль, Индия) и соответствует ГОСТ Р 51519.1-99 и ГОСТ Р 51519.2-99.

Основными классификационными признаками алмазов являются:

- размер;
- форма, степень искажения формы и характер поверхности граней;
- качество (дефектность);
- цвет.

Оценка ведется визуально с использованием лупы 10х-, 6х- увеличения или бинокулярного микроскопа.

#### 3.4.1. Размер

Единица, используемая для взвешивания алмазов и других драгоценных камней называется каратом (carat). Название произошло от наименования средиземноморской акации (Carob tree). Он равен 1/5 грамма или 200 мг (0,2г). В 1914г. карат был стандартизован как карат метрический. Другой весовой единицей для алмазов является грейнер или гран

(grainer). Он равен 0,25 кар или 50 мг. Для очень мелких алмазов ввели единицу пойнт (point). Она равна 0,01 кар.

Размер алмазов определяют:

- для условных ситовых классов — рассевом алмазов на ситах;
- для весовых групп — взвешиванием на аналитических весах 1-го класса и прецизионных 2-го класса по ГОСТ 24104.

В соответствии с классификацией алмазного сырья по системе CITY (М., 1991) размер алмазов характеризуется:

- условными ситовыми классами;
- весовыми группами;
- размерно-весовыми группами.

#### Условные ситовые классы

Вся масса алмазов из горно-обогатительных комбинатов поступает в Центр сортировки алмазов (г.Мирный) в виде 6-ти обогатительных классов. Отличие обогатительных классов крупности от классов крупности по международной системе состоит в форме ячейки сита: в обогатительных и геологических классах ячейка сита имеет квадратную форму, а условные ситовые классы рассеиваются на ситах с круглыми ячейками. При поступлении в сортировочный центр, производится разделение на ситах с круглыми отверстиями на условные ситовые классы. По этим ситам получаем следующие условные ситовые классы (размер, определяемый номером верхнего сита, через которое просеялись алмазы и нижнего, на котором остановились): -0,5+0,2; -1+0,5; -2+1; -3+2; -4+3; -5+4; -6+5; -7+6; -9+7; -11+9; -12+11.

#### Весовые группы

Весовые группы в каратах (ct) или грейнерах (gr), определяющие абсолютный интервал масс. Начиная с условно-ситового класса -12+11 ввиду большой крупности алмазов (>3,35мм), производится по кристальное взвешивание, и далее выделяют группы по размерам:

2gr	0.45-0.65ct	3ct	2.80-3.79ct
3gr	0.66-0.89ct	4ct	3.80-4.79ct
4gr	0.90-1.19ct	5ct	4.80-5.79ct
5gr	1.20-1.39ct	6ct	5.80-6.79ct
6gr	1.40-1.79ct	7ct	6.80-7.79ct
8gr	1.80-2.49ct	8ct	7.80-8.79ct
10gr	2.50-2.79ct	9ct	8.80-9.79ct
		10ct	9.80-10.79ct
		>10ct	>10.80ct

#### Размерно-весовые группы

Из-за сочетания ситового и размерно-весового разделения стали выделять размерно-весовые группы: В зависимости от размеров алмазы подразделяются на шесть основных размерно-весовых групп: -9; -11+9; +11-3gr; 4-6gr; +1,8ct, +10,8ct.

1. -9 (включает в себя условно ситовые классы от 0,5 + 0,2 до -9+7)
2. -11+9 (включает в себя условный ситовой класс -11+9)
3. +11-3gr (включает в себя условный ситовой класс -12+11 и весовые группы 2gr, 3gr)
4. 4-6gr (включает в себя весовые группы 4gr, 5gr, 6gr)
5. +1,8ct (включает в себя весовые группы 8gr, 10gr, 3ct, 4ct, 5ct, 6ct, 7ct, 8ct, 9ct, 10ct)
6. +10,8ct (более 10ct)

Каждая размерно-весовая группа имеет свою систему оценки, которая усложняется, в зависимости от увеличения крупности алмазного сырья. Для мелких классов используют иногда разделение на группы по количеству штук на карат (Табл.3.3).

**Табл.3.3 Распределение алмазов по крупности**

Условный ситовой класс	Ситовой класс, мм	Размер, шт/кар.	Размер, грейнеры	Размер, караты
-0,5	-0,5+0,4	800-600	2	0,45-0,65
	-0,6+0,5	600-400	3	0,66-0,89
	-0,7+0,6	400-200	4	0,90-1,19
-1+0,5	-0,8+0,7	200-150	5	1,20-1,39
		150-120	6	1,40-1,79
	-1,0+0,8	120-90	8	1,80-2,49
-2+1	-1,0+0,8	90-60	10	2,50-2,79
-3+2	-1,2+1,0	90-60	3 размер, кар	2,80-3,79 кар
		60-40	4 размер, кар	3,80-4,79 кар
-4+3		50-30	5 размер, кар	4,80-5,79 кар
-5+4	-1,6+1,2	30-20	6 размер, кар	5,80-6,79 кар
-6+5		20-12(12-8)	7 размер, кар	6,80-7,79 кар
-7+6	-2,0+1,6	12-8(8-5)	8 размер, кар	7,80-8,79 кар
-9+7	-2,4+2,0	8-5(5-4; 4-3)	9 размер, кар	8,80-9,79 кар
-11+9	-2,8+2,4			
+ 11	-3,3+2,8	(4-3; 3-2; 2-1)		

#### 3.4.2. Форма

Форма алмаза является основным признаком, по которому определяется дальнейшее его использование, технологии обработки и выход готовой продукции.

**Форму** алмазов характеризует совокупность следующих признаков (ГОСТ Р 51519.1-99):

- кристаллографическая форма;
- степень искажения формы;
- характер поверхности (рельефность);
- сохранность (целостность) кристалла.

**Кристаллографическими формами** алмаза являются: октаэдр, ромбододекаэдр, куб (гексаэдр), октаэдроид, додекаэдроид.

Существуют и другие формы выделения алмазов:

- Двойники срастания по шинелевому закону;
- Поликристаллические сростки алмазов.

Наиболее идеальной (и соответственно самой дорогой) формой считается изометричный: октаэдр, ромбододекаэдр.

При обработке алмазов данной формы получаются минимальные затраты и максимальный выход готовой продукции.

Алмазы других форм выделения таких как куб (гексаэдр), двойники срастания и прорастания, крупно- и мелкозернистые сростки, в разной степени, усложняют их обработку и тем самым снижают их цену.

#### *Степень искажения формы*

**Степени искажения формы** алмазов характеризуется отношением максимально различных размеров по осям симметрии третьего порядка или осям наибольшего искажения (ГОСТ Р 51519.1-99).

Кристаллы алмаза в природе достаточно редко бывают правильной или изометричной формы, и, как правило, они, в разной степени искажены (уплощены, удлинены или одновременно и уплощены и удлинены).

Степень искажения формы алмаза определяется отношениями (ГОСТ Р 51519.1-99):

**Для кристаллов** - максимального и минимального размеров по одноименным осям симметрии наибольшего искажения.

**Для шинелевых двойников** - длины наибольшего ребра к толщине.

**Для обломков** - наибольшего и наименьшего размеров по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

По степени искажения кристаллы алмазов подразделяются на кристаллы:

- **правильная форма алмаза:** степень искажения до 1,3;
- **с незначительным искажением** – степень искажения от 1,3 до 1,5;
- **с небольшим искажением** - степень искажения от 1,5 до 2,0;
- **искаженные** - степень искажения от 2,0 до 3,0;
- **сильно искаженные** - степень искажения от 3,0 до 4,0;
- **пластинчатые или игольчатые** - степень искажения более 4,0.

#### Характер поверхности (рельефность)

При оценке формы кристалла необходимо оценивать характер его поверхности. Исходя из этого, выделяют:

1. плоскограные кристаллы с очень незначительным округлением и рельефностью граней (не более 6%);
2. кривограные кристаллы с округлой поверхностью граней (октадроиды, додекаэдроиды, гексаэдроиды);
3. кристаллы со ступенчатым развитием поверхности граней.

**Характер поверхности (рельефность)** определяется степенью проявления различных внешних морфологических особенностей (ГОСТ Р 51519.1-99). В зависимости от характера поверхности (рельефности) алмазы подразделяются на :

- **гладкогранные** – кристаллы алмазов с острыми вершинами и ребрами, плоскими гранями;
- **с незначительной рельефностью граней** - кристаллы алмазов с незначительной ступенчатостью граней (до 10%);
- **с небольшой рельефностью граней** - кристаллы алмазов с небольшой ступенчатостью граней (до 20%);
- **с резкой (большой) рельефностью граней** - кристаллы алмазов с большой ступенчатостью граней (до 30%);
- **с рельефными гранями** - кристаллы алмазов с резкой ступенчатостью граней, искажающей первоначальную форму (более 30%).

#### Сохранность

Кристаллы алмазов в зависимости от их **сохранности** подразделяют на целые кристаллы и обломки (ГОСТ Р 51519.1-99):

**целые кристаллы** – неповрежденные кристаллы, а также, кристаллы, отколотые не более чем на одну треть (1/3) исходного объема при условии, что эти сколы не сильно искажают первоначальную форму кристалла;

**обломок:** Часть кристалла природного алмаза, составляющая менее  $\frac{2}{3}$  его исходного объема, или алмаз, не имеющий четко выраженной кристаллографической формы.

Для обозначения различных форм в международной классификации "**City**" используется разделение по позициям, для которых применяется следующая терминология, представленная в таблице 3.4.

Табл.3.4. Терминологические группы по форме

Наименование	Индекс	Характеристика группы
Stones (Стонз)	St	Группа +1,8 ст Целые кристаллы, правильной формы и с незначительным искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней
Sawables (Соузблз)	Z	Группы -2+1 — 4-6 gr Целые кристаллы, правильной формы и с незначительным искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней
Crystals (Кристалз)	Cr	Группы -9; -9 Целые кристаллы, октаэдрические правильной формы, с незначительным искажением, острореберные, гладкогранные
Shapes (Шейпс)	Sh	Группы +9 - +1.8ct Целые кристаллы, с небольшим искажением, гладкогранные, с незначительной или небольшой рельефностью граней
Cleavage (Кливидж)	Cl	Группа +1.8ct Кристаллы с искажением формы, с различной рельефностью граней, обломки, кристаллы с вростками

Irregulars (Иррегюларс)	Igt	ломки, кристаллы с вростками Группы +9 — 4-6 gr Кристаллы от правильной до искаженной формы, с единичными проявлениями резкой рельефности граней, допускаются вростки, не выходящие за поверхность грани
Flats (Флэты)	Fl	Группа +1.8 ст Кристаллы, гладкогранные обломки, сильно уплощенные по L <sub>3</sub>
Chips (Чипс)	Ch	Группы +9 — 4-6 gr Обломки правильной формы с различной рельефностью граней
Maccles (Мэклз)	Mac	Группы +9 — +1.8 ст Шпинелевые двойники, обломки двойников с различной рельефностью граней
Flat Shapes (Флэт шейпс)	Fl Sh	Группы +11—3 gr; 4-6 gr Целые кристаллы, сильно искаженные (уплощенные Sh) с различной рельефностью граней
Flat Chips (Флэт чипс)	Fl Ch	Группы +11—3 gr; 4-6 gr Обломки, сильно искаженные (уплощенные), с различной рельефностью граней
Makeables (Мейкблз)	Mb	Группы -4+3 - -9+7 Кристаллы с искажением (уплощенные), с различной рельефностью граней, обломки, двойники шпинелевые
Cubes (Кьюбз)	Cubes	Группы 3gr — +1.8 ст Кристаллы кубической формы, сростки

#### 3.4.3. Качество

Качество алмаза (уровень дефектности) определяется степенью заполненности камня различными дефектами. По качеству алмазы подразделяются на пять основных групп (ГОСТ Р 51519.1-99):

- **без дефектов** - алмазы, без дефектов при просмотре в 6-ти кратное увеличение;
- **с незначительными дефектами** – алмазы с едва видимыми дефектами при просмотре с 6-ти кратным увеличением;
- **с небольшими дефектами** – дефекты едва различимы «невооруженным» глазом, но хорошо видны в 6-ти кратную лупу;
- **с большими дефектами** – дефекты отчетливо видны «невооруженным» глазом;
- **очень большие дефекты** – дефекты максимально распространены по всему объему алмаза.

Чтобы охарактеризовать расположение дефекта в объеме алмаза кристалла используется условное разделение камня на зоны: периферийную; промежуточную; центральную.

В классификаторе "City" качество обозначается или цифрами (чем больше номер, тем хуже качество), или терминами (Табл.3.5).

Табл. 3.5 Терминологические группы по качеству

Наименование	Индекс	Характеристики группы
Первое качество Top (Топ)	1Q Top	Группы -9 — 4-6 gr Группа +1,8 ст Чистые. При просмотре с помощью лупы (6х) дефекты не видны
Второе качество Spotted (Спотид)	2Q Spt	Группы -9 — 4-6 gr Группа +1,8 ст С незначительными дефектами, едва видными в лупу (6х)
Третье качество Speculative (Спекьюлтив)	3Q Spec	Группы -9 — 4-6 gr Группа +1,8 ст С небольшими дефектами, едва различимыми невооруженным глазом, но обнаруживаемыми в лупу (6х)
Четвертое качество Dark (Дак)	4Q DK	Группы -9 — 4-6 gr Группа +1,8 ст С небольшими дефектами в различных зонах или с единич-

Наименование	Индекс	Характеристики группы
Пятое качество Black (Блэк)	5Q Blk	ным большим дефектом в периферийной зоне кристалла Группа +1,8 ст Большие дефекты в центральной зоне
Объединенное 1/2 качество	1/2 Q	Группы -4+3 — 4-6гт Чистые и с незначительными дефектами
Объединенное 2/3 качества	2/3 Q	Группа 4-6 гт С незначительными и небольшими дефектами
Объединенное 3/4 качества	3/4 Q	Группы -9+7 — 4-6 гт С небольшими и единичными большими дефектами
Объединенное 1/4 качества	1/4 Q	Группа - 4+3 Чистые с незначительными небольшими и единичными большими дефектами

Каждая размерно-весовая группа имеет свою схему сортировки алмазной продукции, которая разделена на 2 части (Табл3..6):

кристаллы

обломки и двойниковые образования

Каждая часть в свою очередь делится на:

"Gem"- сырьё ювелирного качества;

"Near Gem"- сырьё околов ювелирного качества;

"Industrial"- техническое сырье.

Границы между этими группами очень условные и определяются, в основном, его дальнейшим использованием и ценой сырья.

Оценка качества алмазов ведется с использованием эталонной коллекции, которая должна включать все позиции по форме и дефектности и учитывать особенности сортируемого сырья, а также представлять все месторождения, сырье которых сортируется.

Также следует отметить, что при определении качества алмаза необходимо рассматривать форму только в совокупности с определением степени дефектности, а не раздельно.

Табл.3.6 Структура позиций укрупненной номенклатуры

Наименование позиций укрупненной номенклатуры	Размер	Позиции классификатора [7,8]
Gem «кристаллы»	3gr, 2gr, +11, +9, +7, +6	Sawables 1-4q, Shapes 1-3q, Irregulars 1, 2, 3/4q, FLSh 1-3q Crystals 1, 2q, Sawables 1-4q, Shapes 1-3q, Irregulars 1, 2, 3/4q Crystals 1, 2q,
Gem «обломки»	3gr, 2gr, +11, +9	Chips 1-3q, FLCh 1-3q Chips 1-3q
Gem «двойники»	3gr, 2gr, +11, +9	Maccles 1-3q, MBFL 1-2q
Near Gem «кристаллы»	3gr, 2gr, +11, +9, +7, +6	4 Black Z, Rej St 1-3q 4 Black Z, Rej St 1-2q
Gem + Near Gem «кристаллы»	+5, +4, +3	Cristals 1, 2q, Sawables 1-3q, 4 Black Z, Rej St 1-2q
Near Gem «обломки и двойники»	3gr, 2gr, +11, +9	CL/MB, CL/FL, Rej 1-3q, CL/MB, Rej 1-2q
Gem + Near Gem «обломки и двойники»	+7, +6, +5, +4, +3	MB 1-3q, CL/MB, MBFL 1-2q CL/FL, Rej 1-3q, MB 1-3q, CL/MB, Rej 1, 2q

Наименование позиций укрупненной номенклатуры	Размер	Позиции классификатора [7,8]
Industrial «для инструментов»	3gr, 2gr, +11, +9, +7	Yellow St 1/2, 3, 4q, Yellow Sh 1, 2q, Dk Brn St 1/2, 3, 4q, Dk Brn Sh 1, 2q, Dressers 1-5q, Brn Mb 1-2q Yellow St 1/2, 3/4q, Yellow Sh 1, 2q, Dk Brn St 1/2, 3/4q, Dk Brn Sh 1, 2q, Drilling 1-3q, Brn Mb 1-2q
Industrial «для инструментов»	+6, +5, +4, +3	Yellow St 1/4q, Yellow Sh 1/2q, Dk Brn St 1/4q, Dk Brn Sh 1/2q, Drilling 1-3q, Brn Mb 1-2q Yellow St 1/4q, Yellow Sh 1/2q, Dk Brn St 1/4q, Dk Brn Sh 1/2q, Drilling 1-2q
Industrial «для предварительной обработки»	3gr, 2gr, +11, +9, +7, +6, +5, +4, +3	Brn Cliv, Brn Rej, Boart Iq Brn Cliv, Boart Iq Drilling 3q, Boart mxd

#### 3.4.4. Цвет

Цвет представляет собой совокупность взаимодействия между источником света, объектом, человеческим глазом и мозгом. Большинство источников излучает свет, который представляет собой комбинацию различных длин волн видимого электромагнитного излучения. Объект поглощает некоторые длины волн и передает или отражает остальные. Рецепторы глаза переводят эти длины волн в оптический код, который, затем, передается зрительным нервом в мозг, где они интерпретируются как ощущения различных цветов. При описании цвета пользуются такими категориями, как оттенок, тон и насыщенность.

Оттенок-это основное зрительное восприятие, полученное от цвета. Поскольку диапазон видимых длин волн является бесконечно делимым, то количество оттенков бесчисленно. Однако человеческий глаз может непосредственно различить около ста пятидесяти.

Тон-это такое сочетание света и тени (светлого и темного), которое сопровождает восприятие цветового ощущения. Тон делится на 11 ступеней, от бесцветного до черного.

Насыщенность – это степень интенсивности оттенка при ощущении цвета. Соответствующие словесные термины, от нейтрального до яркого, описывают относительную интенсивность оттенка, которую воспринимает глаз на каждом уровне насыщенности.

При оценке алмазов пользуются методом, который заключается в сравнении цвета оцениваемого сырья с эталоном. Оценка цвета производится визуальным методом на специальной стандартной бумаге ГОСТ 2635 под специальной геммологической лампой, которая дает холодный, белый, отфильтрованный свет (свободный от ультрафиолета).

Соответственно ГОСТу Р 51519-99 по цвету алмазы подразделяют на семь основных групп, которые характеризуются интенсивностью окраски и цветовыми оттенками:

бесцветные;

с незначительным оттенком цвета;

с небольшим оттенком;

с оттенком;

цветные, с выраженным оттенком в объеме камня;

цветные, с густой окраской в объеме камня.

Абсолютно бесцветные алмазы не имеют никаких оттенков, и при его обозначении используется терминология:

1 colour – алмазы бесцветные, почти не видно различий с белой бумагой

Extra - камень настолько бесцветен, что на фоне бумаги теряются его контуры

Для алмазов основными являются три цвета:

желтый,

зеленый,

коричневый.

Остальные цвета встречаются достаточно редко.

При оценке алмазного сырья выделяют два цветовых ряда:

желто-зеленый;  
коричневый.

**Желто-зеленый цветовой ряд (Yellow-Green):**

2 coloure - с незначительным нацветом, едва уловимый оттенок (трудно его определить);  
3 coloure - с небольшим нацветом, с видимым оттенком желтизны;  
4 coloure - с нацветом, ясно видимый оттенок,  
coloured - явно видимый цвет,  
cape - ярко выраженный цвет.

**Коричневый цветовой ряд (Brown):**

1 Brown - едва уловимый оттенок (иногда в виде легкой дымчатости);  
2 Brown - с незначительным видимым оттенком коричневатости;  
3 Brown - ясно видимый коричневый (иногда с признаками желтизны) оттенок;  
4 Brown - коричневые;  
5 Brown - интенсивно коричневые;  
6 Brown - темно-коричневые.

Табл.3.7. Терминологические группы по цветовым характеристикам

Наименование	Индекс	Характеристики группы
Extra (Экстра)	Ext	Бесцветные высшие, в том числе с оттенком голубизны, на фоне белой бумаги сливаются
1-й цвет 1 Colour	1C	На фоне белой бумаги прозрачные, бесцветные, но не сливаются с ней
1 Lite Pique (1-й Лайт пике)	1 LtPq	1-го цвета с черными дефектами
2-й цвет (2 Colour)	2C	С едва уловимым желтым, зеленым, аквамариновым, фиолетовым или серым оттенком
3-й цвет (3 Colour)	3C	С незначительным желтым, зеленым, аквамариновым или фиолетовым оттенком
Lite Pique (Лайт пике)	LtPq	Бесцветные и с незначительным нацветом с черными дефектами в виде точек
2/3 Lite Pique (2/3-й Лайт пике)	2/3 Lt Pq	С небольшим нацветом с черными дефектами
Grey (Грей)	Grey	Серые (совокупность нацвета и темных дефектов)
Black (Блэк)	Blk	С многочисленными черными дефектами
4-й цвет (4 Colour)	4C	С небольшим желтоватым, зеленоватым, аквамариновым, фиолетовым или серым оттенком
5-й цвет (5 Colour)	5C	С видимым желтым, зеленым, аквамариновым, серым или незначительным коричневым оттенком
6-й цвет (6 Colour)	6C	С ясно видимым желтым, зеленым, лимонным, аквамариновым или серым оттенком
Lite Brown&Coloured (Лайт браун энд калэд)	Lt Brn&Cld	Объединенная цветовая позиция
7-й цвет (7 Colour)	7C	Желтые, с желтым, зеленым, лимонным нацветом во всем объеме
8-й цвет (8 Colour)	8C	Очень желтые, желто-зеленые
Coloured (Калэд)	Cld	Цветные
9-й цвет (9 Colour)	9C	С желто-коричневым нацветом
Cape (Кейп)	Cr	Желтые

В некоторых случаях, когда в камнях присутствует чистый зеленый оттенок, без примеси коричневого или желтого (допускается примесь голубого цвета), выделяют, как отдельный, зеленый ряд (Green).

Как было ранее сказано, для оценки цвета используется эталонная коллекция по цвету. Она должна включать все возможные цветовые позиции, указанные в классификаторе, все вариации оттенков и их сочетаний, а также алмазы всех месторождений, с сырьем которых приходится иметь дело. Если есть возможность, отдельно создают коллекцию фантастических цветов (Fancy Colour). К этой категории относят алмазы с цветовыми характеристиками, ко-

торые имеют либо более высокую насыщенность, либо цвет, редко встречающийся у алмазов.

При определении цвета используются следующей терминологией (Табл.3.7).

### 3.5. Технология сортировки алмазного сырья

Сортировка и предварительная оценка драгоценных камней – это завершающая часть процесса обогащения, позволяющая на основании утвержденных коллекций типовых образцов разделить алмазное сырье на отдельные сорта, которые соответствуют принятым на мировом рынке необработанных алмазов.

Весь этот многоступенчатый процесс осуществляется в Центре сортировки алмазов АК «АЛРОСА» на различных участках производства и сервисного обслуживания :

участок хранения и учета алмазной продукции,  
участок классификации,  
участок сортировки и оценки,  
участок минералогического изучения алмазов,  
информационно-вычислительный отдел.

Алмазы из горно-обогатительных комбинатов Акционерной компании «АЛРОСА» направляются в ЦСА. В Центре сортировки алмазов (ЦСА, г. Мирный) осуществляется разделение алмазов по размерно-весовым группам, формируются оценочные партии по каждому ГОКу, производится предварительная аттестация и оценка алмазов по размерно-весовым группам в соответствии с коллекцией типовых образцов, а также определяется страховая стоимость алмазного сырья.

Контроль за регулярностью поставок, строжайший учет массы алмазной продукции при поступлении в Центр, контроль за движением алмазного сырья внутри ЦСА и за его пределами осуществляют сотрудники участка учета и хранения алмазного сырья («хранилища»).

Вся масса алмазов из ГОКов поступает в ЦСА в виде 6-ти обогатительных классов. Для того чтобы привести алмазную продукцию к международным стандартам, необходимо разделить ее на 16 классов крупности.

В зависимости от размера алмазы классифицируются на 5 размерно-весовых групп: -9; +9; +11-3gr; 4-6gr; +1,8 ст. В свою очередь каждая размерно-весовая группа имеет свой диапазон по размеру (Табл.3.8).

Алмазы обогатительных классов крупности -4,7+1,7; 1,7+1,0; -1,0+0,5 проходят через ряд механических сит, на которых камни разделяются по диаметру кристаллов. Этот процесс осуществляется на участке классификации. Поскольку масса алмаза зависит от его размера, формы (диаметра d), на ситах с фиксированным диаметром отверстия остаются кристаллы, диаметр которых больше d, а, следовательно, кристаллы средней массы, соответствуют указанному диаметру. Такой способ разделения (рассева) алмазов на группы с помощью системы сит с монотонно уменьшающимся диаметром отверстий позволяет говорить об алмазах в терминах ситовых характеристик.

Сортировка этих алмазов осуществляется посредством рассева на вибрационных ситах. В центре сортировки алмазов для механического рассеивания используются вибрационные ситовые грохота «Анализетте 3» Fritsch GmbH Manufacturers of Laboratory Instruments, Germany (Рис. 3.1,3.2).

Табл.3.8. Соответствие размерно-весовых групп и ситовых классов по классификатору CITY

Основная размерно-весовая группа	Условный ситовой класс	Размер (весовая группа, кар)
-9	-1; -2+1; -3+2; -4+3; -5+4; -6+5; -7+6; -9+7;	
+9	-11+9	
+11-3GR	-12+11	2GR (до 0,65) 3GR (0,66-0,89)
4-6GR		4GR (0,901-1,19) 5GR (1,20-1,39) 6GR(1,40-1,79)
+1,8кар.		8GR (1,80-2,49) 10GR (2,50-2,79) 3-й размер(2,80-3,79) 4-й размер(3,80-4,79) 5-й размер(4,80-5,79) 6-й размер(5,80-6,79) 7-й размер(6,80-7,79) 8-й размер(7,80-8,79) 9-й размер(8,80-9,79) 10-й размер(9,80-и более)



Рис. 3.1. Сита с круглыми ячейками



Рис 3.2. Вибрационные ситовые грохота «Анализетте 3»

Analysette 3 в классическом смысле является качающимся грохотом, где сита приводятся в вертикальное колебательное движение электромагнитным приводом. При этом грохотимый материал периодически подбрасывается вверх и при падении проходит через отверстия аналитических сит. Благодаря регулируемому вертикальному движению достигается оптимальная точность рассева и равномерное распределение грохотимого материала через отверстия. Из-за отсутствия центробежных сил, все силы почти независимо от ускорения действуют в разделительном направлении сит.

Самые крупные алмазы обогатительного класса -4,7+1,7, рассеянные на ситах +13 и +12, проходят дальнейшую сортировку по массе камня. Определение массы каждого кристалла производится как механическим, так и ручным способом. Обогатительный класс (рис. 3.3) крупности -6,7+4,7 проходит сортировку по массе по кристалльным взвешиванием на электронных весах.

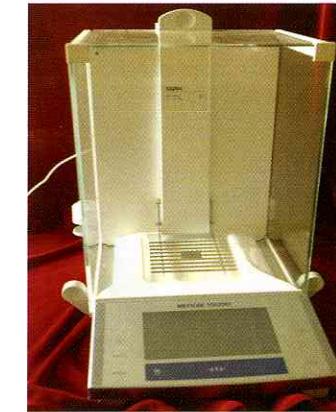


Рис 3.3. Электронные весы METTLER TOLEDO

Для автоматической сортировки алмазов используются приборы Классификатор Весовой KB-4К. Диапазон массы кристаллов 0,12-2,5 карата. Производительность для ситовых классов 8-10 карат/мин., для классов крупности -13 20-25 карат/мин.

Также используется классификатор КАМ. Масса сортируемых кристаллов 0,9-2,5 карат, производительность 15-20 карат/мин (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Классификатор алмазов по массе КАМ

Механический процесс классификации сырья управляет персональными компьютерами классификатором весовым KB-4К.

Из каждой размерно-весовой группы берется оценочная проба и производится ее сортировка и оценка. Для этого производится квартовка алмазов на делителе (рис. 3.4).

Ротационный конусный делитель Laborette 27 используется для получения представительной пробы, которая является основным условием получения корректных результатов. Возможно деление сухим и мокрым способом.

Коэффициент деления – 1:8, 1:10, 1:30.

Максимальная крупность загружаемого материала – 10мм.

Максимальное количество пробы - от 4000 до 3000мл.

Габариты (Ш x Г x В) – 27x45x46 см.  
Вес – 7,7 кг



Рис. 3.5. Ротационный конусный делитель

Сегодня наилучшее деление проб основывается на совмещении трёх методов деления в одном приборе (рис. 3.6)

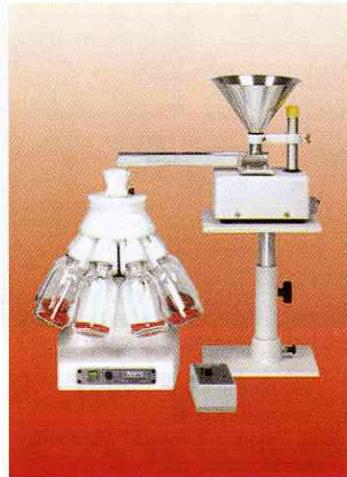


Рис. 3.6. Совмещение трех методов деления на одном приборе.

Проба поступает через воронку на делительный конус, форма которого отвечает конусам, применяемым при квартовании и делении при помощи конуса. На поверхности конуса проба ускоряется наружу вращением всей системы и разделяется через направляющие каналы в макс. 30 отдельных потоков. Отдельные пробы улавливаются в стеклянные приёмные

стаканы с навинчивающейся крышкой. За счёт вращения и числа каналов делительной головки число делительных ступеней повышается до 3000 в минуту, так что каждая проба состоит из очень большого количества единичных проб, что является признаком качественного деления пробы. Благодаря своей конструкции ротационный конусный делитель проб Laborette 27 достигает точности деления проб 99,9% (Табл.3.9).

Табл.3.9. Технические характеристики Laborette 27.

Характеристики	Ротационный конусный делитель проб		
Коэффициент деления	Деление 1 : 8	Деление 1 : 10	Деление 1 : 30
Материалы	Пластмасса полоксиметилен или алюминий	Пластмасса полоксиметилен или алюминий	Пластмасса Полоксиметилен или алюминий с покрытием из ПТФЭ
Число частей пробы	8	10	30
Максимальный допустимый размер частиц	10 мл	10 мл	2,5 мл
Максимальный объем загрузки	4000 мл	2500 мл	300 мл
Полезный объем приемных стаканов	250, 500 мл	250 мл	15, 20, 30 мл

Сортировка и оценка алмазной продукции производится на трех предприятиях АК «АЛРОСА»:

1. Центр сортировки алмазов (ЦСА), г. Мирный
2. Единая сбытовая организация (ЕСО), г.Москва
3. Якутское предприятие торговли алмазами (ЯПТА), г.Якутск

Сортировка ведется строго в соответствии с утвержденными классификатором и прейскурантом и эталонными образцами качества и цвета.

Значительно облегчают кропотливый труд сортировщиков:

Автоматы «SORTEX», сортирующие алмазы по цвету (рис. 3.7),

вибростолы, сортирующие их по форме (рис. 3.8)

установки «SADE», определяющие размерную группу камня (рис. 3.9).

Автоматы «SORTEX» сортируют алмазы по цвету, диапазон сортировки от класса крупности -4+3 до размерности 2Gr. Производительность работы до 6 камней в секунду, что в весовом отношении составляет от 500 до 5000 карат в час в зависимости от крупности продукции. Объем единовременной загрузки автомата до 10000 карат.

Вибростолы используются для сортировки алмазного сырья размерно-весовой группы -9. Производительность составляет тысячи карат в час.

Установки «SADE» производят разделение алмазов на размерно-весовые группы. Диапазон сортировки – от 2Gr до 15 карат.

Производительность аппарата зависит от крупности сырья:

сырье от 2 до 8 грейнеров	990-3870карат в час (из расчета 1камень за 2 секунды) максимальная загрузка до 9000 кар
сырье от 10 грейнеров до 10 карат	3180-11760карат в час (из расчета 1 камень за 3 секунды) Максимальная загрузка до 7000 кар.

Задаваемая точность 0,001карата.



Рис.3.7. Автоматы «SORTEX»



Рис.3.8. Вибростолы

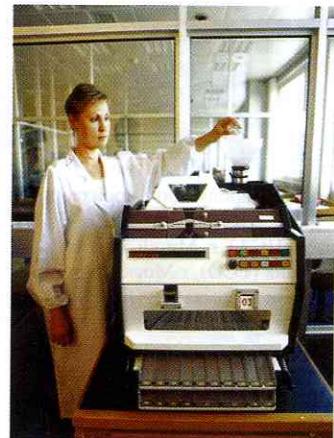


Рис. 3.9. Установки «SADE»

Предприятие не ориентируется на использование только зарубежного оборудования. На протяжении многих лет оно поддерживает тесные связи с ведущими российскими конструкторскими бюро, которые разрабатывают принципиально новые автоматы для окончательной химической очистки и сортировки алмазов.

Несмотря на то, что уже давно создано оборудование для автоматической сортировки алмазов, никакая машина по-прежнему не способна заменить профессиональные навыки и опыт сортировщика или эксперта.

Каждый алмаз из оценочной пробы, подвергаясь доскональному осмотру, должен получить 4 характеристики: массу, форму, качество и цвет. Именно эти характеристики и положены в основу международной классификации CITY. Так называемый принцип «4С».

В результате получается более 8000 категорий различных алмазов по всем классам крупности. Каждая категория алмазов имеет в Прейскуранте цен свою стоимость за 1 карат. Путем несложных математических вычислений определяется стоимость пробы и средняя цена за 1 карат.

Средняя цена оценочной пробы распространяется на всю продукцию соответствующего класса крупности алмазов и соответствующего ГОКа. Алмазное сырье приобретает

стоимость и становится товаром для сбыта и реализации через Единую Сбытовую организацию.

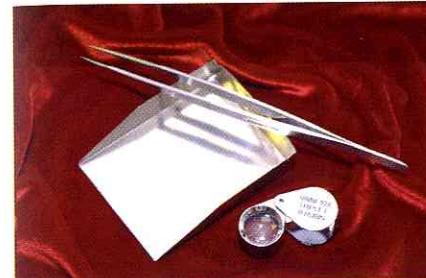


Рис.3.10.Рабочий инструмент эксперта по оценке алмазов



Рис.3.11. Изложница с рассортированными алмазами



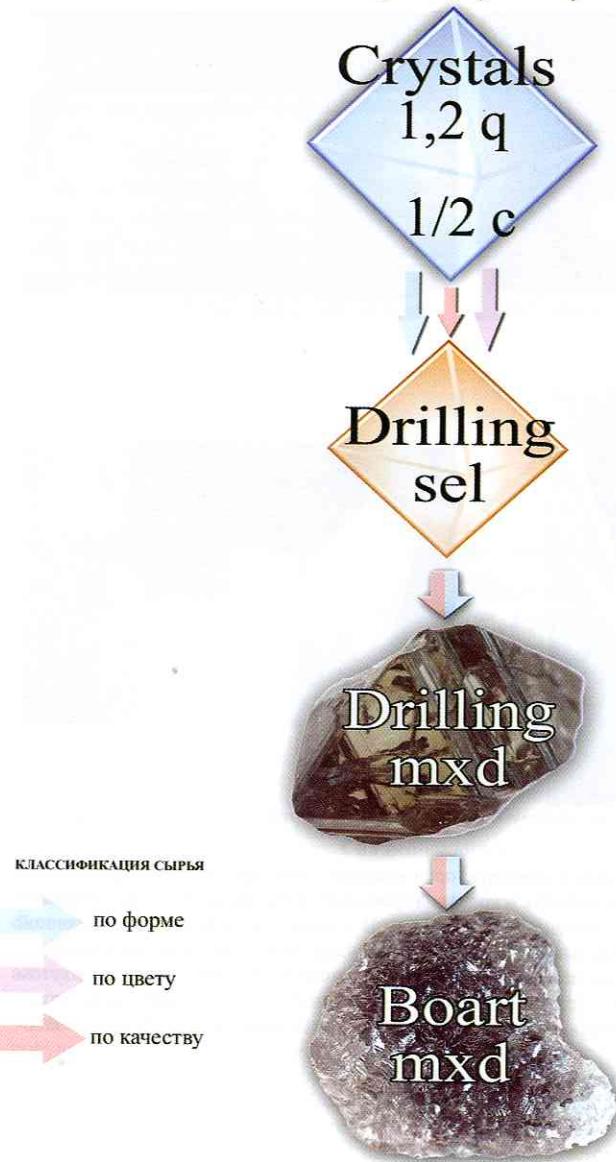
Рис.3.12 Сортировка алмазов по качеству



Рис.3.13. Сортировка алмазов по цвету

С 50-х годов внимание ученых и конструкторов начинают привлекать другие физические свойства алмаза. Известно, что, попадая в кристалл, быстрые заряженные частицы выбивают электроны из его атомов, т.е. ионизируют вещество. В алмазе под действием заряженной частицы происходит световая вспышка и возникает импульс тока. Эти свойства позволяют использовать алмазы в качестве детекторов ядерного излучения. Совместно с Институтом ядерных исследований в Дубне Центр сортировки алмазов несколько лет проводили эксперимент по изготовлению детекторов жесткого излучения для лечения онкологических заболеваний.

Структура классификации алмазов размерностей:  
**-0,5+0,2; -1+0,5**



3.6. Условный ситовый класс **-0,5+0,2; -1+0,5**

Crystals (Cr)

Качество: 1, 2Q;

Цвет: 1/2C.

Целые кристаллы октаэдрической формы; с плоскими гранями и острыми ребрами.

Crystals 1Q

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, правильной формы или с незначительным искажением (Рис.3.14а). Допускается незначительное округление ребер (Рис 3.14б). Без дефектов.

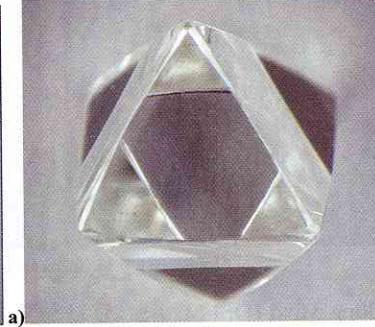
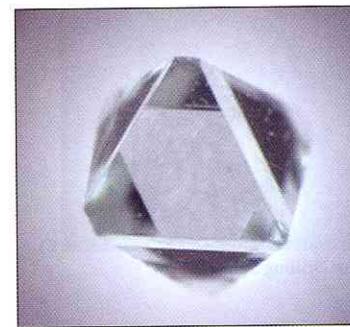


Рис. 3.14. а,б. Алмазы позиции Crystals 1Q

Crystals 2Q

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, правильной формы или с незначительным искажением. Допускается незначительное округление ребер. Дефекты - незначительные в центральной зоне или небольшие в промежуточной или периферийной зонах (Рис. 3.15).

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, с небольшим искажением. Допускается очень незначительное округление ребер. Без дефектов.

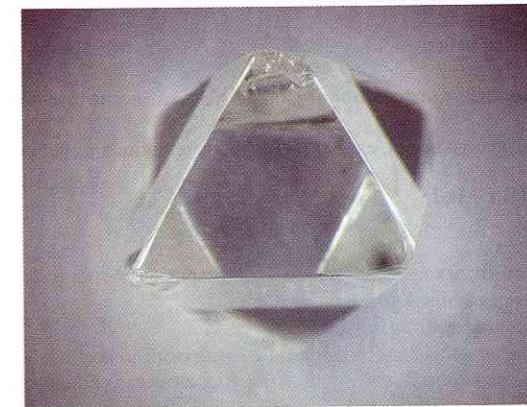


Рис.3.15. Алмаз позиции Crystals 2Q

Drilling  
Drilling Select (Dril Sel)

Качество: Sel;

Цвет: не выделяется.

Целые плоскограные и кривограные кристаллы, октаэдрического, додекаэдрического габитуса правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; с небольшой рельефностью граней (Рис.3.16а);

без дефектов или с небольшими, единичными включениями в различных зонах (Рис.3.16б).

В эту же позицию отсортировываются кристаллы, не вошедшие по цвету в CRYSTALS.

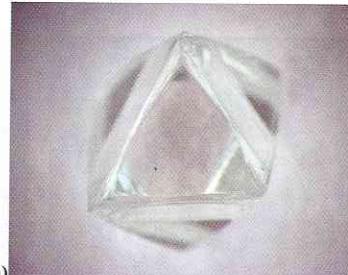
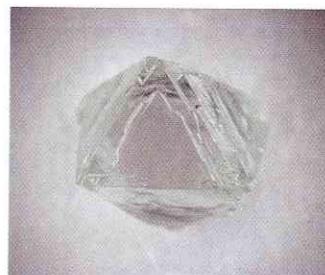


Рис 3.16 а,б. Алмазы позиции Drilling Select

Drilling Mixd (Dril Mxd)

Качество: Mxd

Цвет: не выделяется

Целые плоскограные, кривограные кристаллы, октаэдрического, додекаэдрического габитуса, их обломки и шпинелевые двойники.

Кристаллы:

правильной формы или с незначительным, или с небольшим искажением; с различной рельефностью граней;

без дефектов или с небольшими, единичными включениями в различных зонах.

Обломки:

плоскограных или кривограных кристаллов правильной формы или с незначительным, или с небольшим искажением;

с незначительной или небольшой рельефностью поверхности, с различными сколами;

без дефектов.

Шпинелевые двойники: с плоскими гранями или с незначительной рельефностью поверхности;

без дефектов или с небольшими, единичными включениями в различных зонах.

Boart Mixed (Brt Mxd)

Качество: Mxd

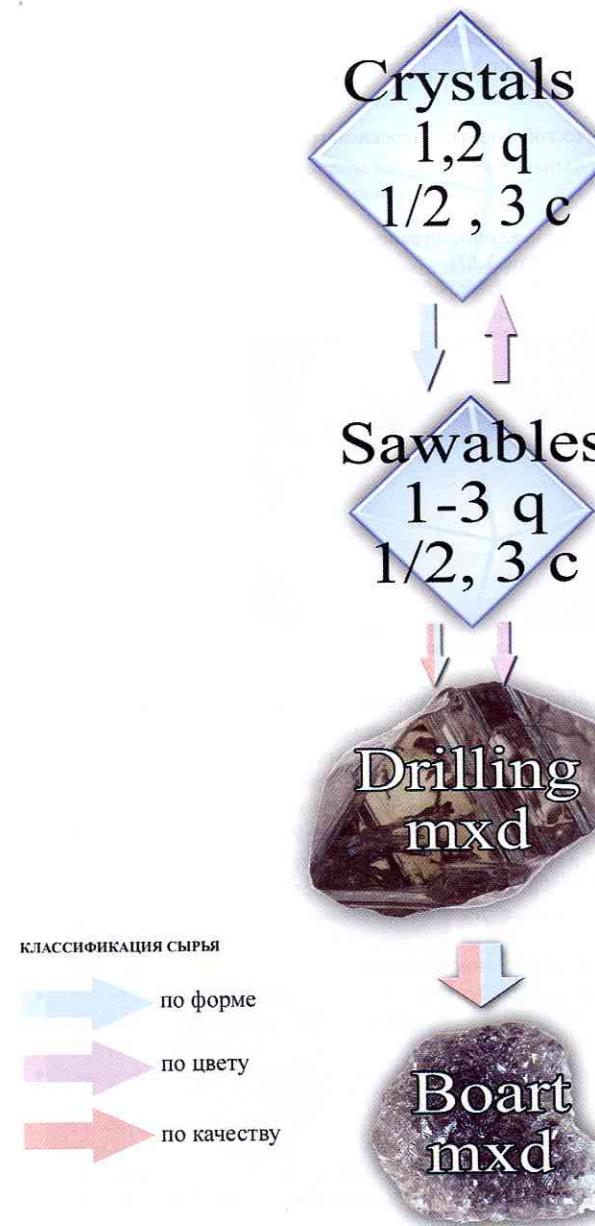
Цвет: не выделяется

Кристаллы и их обломки, закономерные и незакономерные сростки и их обломки:

- с различным искажением формы;
- с различной рельефностью граней;
- с большими включениями и трещинами в различных зонах.

Примечание. К позиции Boart Mixed относятся алмазы, не вошедшие по качеству в Drilling Mixd.

## Структура классификации алмазов размерностей: -2+1



### 3.7. Условный ситовый класс -2+1

**Новое:** В классификации алмазов класса крупности -2+1 по сравнению с классом -1+0.5 появляется позиция SAWABLES 1-3Q вместо Drilling Select.

#### Crystals (Cr)

**Качество:** 1, 2Q;

**Цвет:** 1/2C, 3C

Целые кристаллы октаэдрической формы; с плоскими гранями и острыми ребрами.

#### Crystals 1Q

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, правильной формы или с незначительным искажением (Рис.3.17).

Допускается незначительное округление ребер.

Без дефектов или с незначительными, единичными включениями в различных зонах



Рис 3.17. Алмаз позиции Crystals 1Q

#### Crystals 2Q

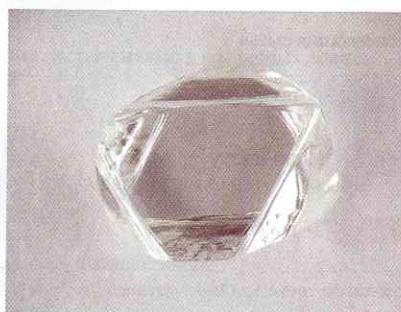
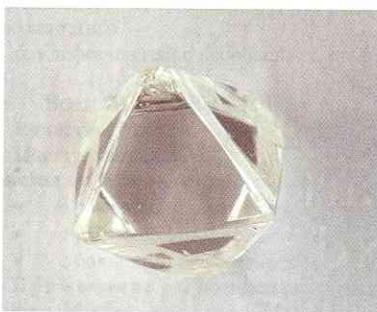
Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, правильной формы или с незначительным искажением.

Допускается незначительное округление ребер.

Дефекты - незначительные в центральной зоне или небольшие в промежуточной или периферийной зонах (Рис. 3.18а)

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, с небольшим искажением (Рис.3.18б).

Допускается очень незначительное округление ребер. Без дефектов.



а)

б)

Рис 3.18 а,б. Алмазы позиции Crystals 2Q

#### Sawables (Z)

**Качество:** 1-3Q;

**Цвет:** 1/2, 3C

Целые плоскогранные и кривогранные кристаллы октаэдрического, додекаэдрического габитуса; с незначительной или с небольшой рельефностью поверхности.

#### Sawables 1Q

**Кристаллы:**

Плоскогранные правильной формы или с незначительным или с небольшим искажением; с незначительной рельефностью граней; без дефектов (Рис.3.19).

Примечание. Небольшое округление ребер; 1-2 дополнительных ребра; каплевидно-блоковое строение граней; 1-2 точки пигментации на поверхности.

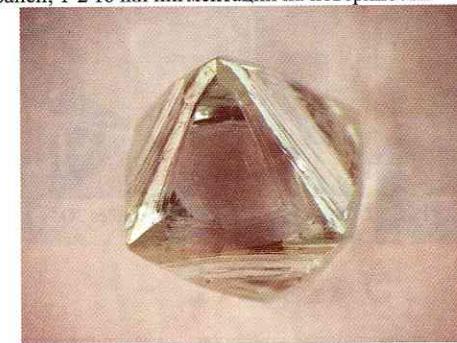


Рис 3.19.Алмаз позиции Sawables 1Q.

#### Sawables 2Q

**Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; плоскогранные, кривогранные с незначительной рельефностью граней; дефекты: незначительные единичные включения в различных зонах.

Примечание. Допускаются:

- Кристаллы с искажением 1:2 с незначительной ступенчатостью;
- Додекаэроиды «уральского» типа - бездефектные;
- Алмазы с небольшой ступенчатостью - бездефектные;
- Алмазы с незначительной и небольшой ступенчатостью с искажением до 1,5 - с единичными незначительными дефектами в центральной зоне кристалла или с единичными небольшими - в периферийной;
- Кристаллы с тонкослоистым и полицентрическим развитием граней;
- Возможны фигуры травления, но не глубокие. Легкая коррозия поверхности 1-2 граней, но без матовой поверхности;
- Линии скольжения;
- 1-2 незначительно поврежденных вершины, но без трещин.

#### Sawables 3Q

**Кристаллы:**

правильной формы, или с незначительным, или небольшим искажением; плоскогранные, кривогранные или с незначительной рельефностью поверхности; с единичными небольшими включениями в различных зонах и с незначительными единичными трещинами в периферийной зоне на границе с промежуточной.

Примечание. Допускаются:

- Кристаллы с незначительной ступенчатостью, с незначительным искажением, дефекты единичные в различных зонах, хорошо видимые при 10x увеличении (Рис.3.20a)
- Незначительные сколы по спайности от 1 вершины (Рис.3.20b).
- Для кривограных кристаллов дефекты в виде:
- незначительного включения в центральной зоне;
- небольшого включения в промежуточной или периферийной зонах;
- наличие индукционной грани;
- додекаэдроиды с каплевидно-блоковой скульптурой.



Рис. 3.20 а,б Алмазы позиции Sawables 3Q

Drilling Mixed

Качество: Mxd

Цвет: не выделяется

Целые плоскогранные, кривограные кристаллы, октаэдрического или додекаэдрического габитуса их обломки и шпинелевые двойники.

Кристаллы:

правильной формы или с незначительным, или с небольшим искажением;  
с различной рельефностью поверхности;  
без дефектов или с небольшими, единичными включениями в различных зонах.

Обломки плоскограных или кривограных кристаллов правильной формы или с незначительным, или с небольшим искажением;

с незначительной или небольшой рельефностью поверхности, с различными сколами;  
без дефектов.

Шпинелевые двойники: гладкогранные или с незначительной рельефностью граней;

без дефектов или с небольшими, единичными включениями в различных зонах.

Примечание. К позиции Drilling Mixed относятся алмазы, не соответствующие по цвету алмазам позиций CRYSTALS и SAWABLES и кристаллы, не соответствующие по качеству - SAWABLES.

Boart Mixed (Brt mxd)

Качество: Mxd

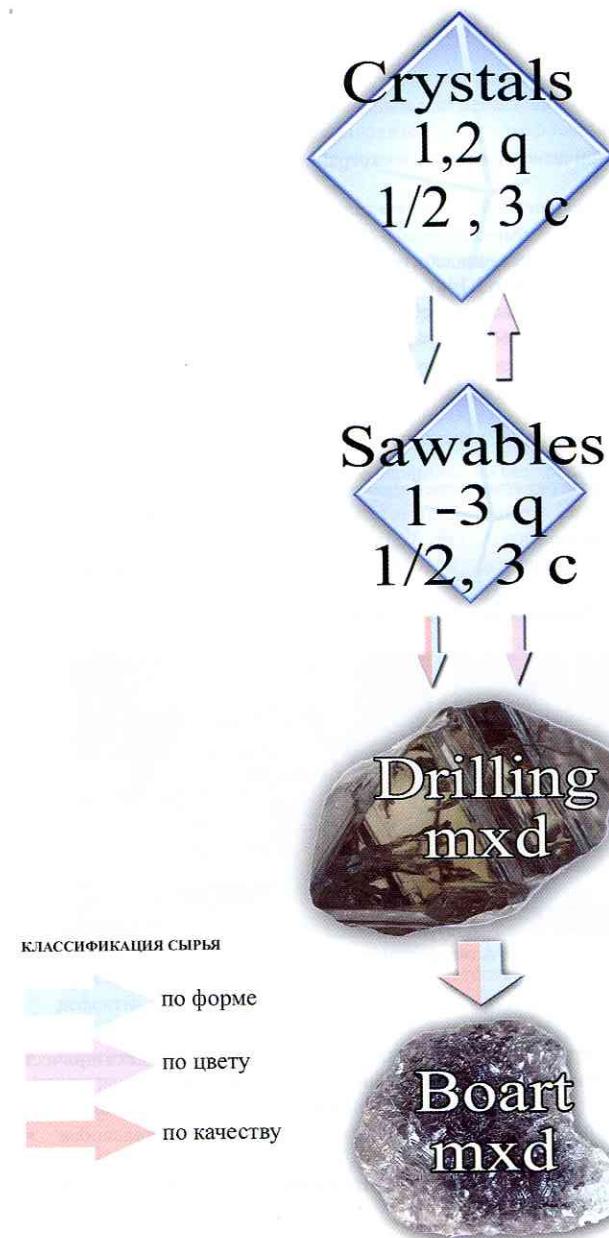
Цвет: не выделяется

Кристаллы и их обломки, закономерные и незакономерные сростки и их обломки:

с различным искажением формы;  
с различной рельефностью граней;  
с большими включениями и трещинами в различных зонах.

Примечание. К позиции Boart Mixed относятся алмазы, не вошедшие по качеству в Drilling Mxd.

## Структура классификации алмазов размерностей: -3+2



### 3.8. Условный сотовый класс -3+2

Отличие от класса крупности -2+1:

Drilling mxd разделяется на Drilling 1,2,3Q

#### Crystals (Cr)

Качество: 1, 2Q;

Цвет: 1/2C, 3C

Целые кристаллы октаэдрической формы; плоскограннныe с острыми ребрами и вершинами.

#### Crystals 1Q

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскограннныe, острореберные, правильной формы или с незначительным искажением (Рис.3.14а).

Допускается незначительное округление ребер.

Без дефектов или с незначительными (Рис.3.14б), единичными включениями в различных зонах

#### Crystals 2Q

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскограннныe, острореберные, правильной формы или незначительным искажением.

Допускается незначительное округление ребер.

Дефекты – незначительные, труднонаходимые в центральной зоне или небольшие в промежуточной или периферийной зонах (Рис. 3.21а)

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскограннныe, острореберные, с небольшим искажением (Рис. 3.21б).

Допускается очень незначительное округление ребер.

Без дефектов.

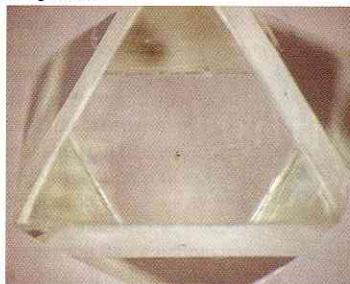


Рис.3.21. а, б. Алмазы позиции Crystals 2Q

#### Sawables (Z)

Качество: 1-3Q;

Цвет: 1/2, 3C

Целые плоскограннныe и кривограннныe кристаллы октаэдрического, додекаэдрического габитуса; с незначительной или с небольшой рельефностью поверхности

#### Sawables 1Q

Кристаллы:

Плоскограннныe правильной формы или с незначительным или с небольшим искажением; с незначительной рельефностью граней;

без дефектов (Рис.3.10).

Примечание. Небольшое округление ребер;

1-2 дополнительных ребра;  
каплевидно-блоковое строение граней;  
1-2 точки пигментации на поверхности.

#### Sawables 2Q

Кристаллы:

правильной формы или с незначительным или небольшим искажением;  
плоскограннныe, кривограннныe с незначительной рельефностью граней.

Дефекты: незначительные единичные включения в различных зонах.

Примечание. Допускаются:

- Кристаллы с искажением 1:2 с незначительной ступенчатостью;
- Додекаэроиды «уральского» типа - бездефектные;
- Алмазы с небольшой ступенчатостью - бездефектные;
- Алмазы с незначительной и небольшой ступенчатостью с искажением до 1,5 - с единичными незначительными дефектами в центральной зоне кристалла (Рис. 3.22а) или с единичными небольшими - в периферийной;
- Кристалл с тонкослоистым и/или полицентрическим ростом (Рис.3.22б);
- Возможны фигуры травления, но не глубокие. Легкая коррозия поверхности 1-2 граней, но без матовой поверхности;
- Линии скольжения;
- 1-2 незначительно поврежденные вершины, но без трещин.

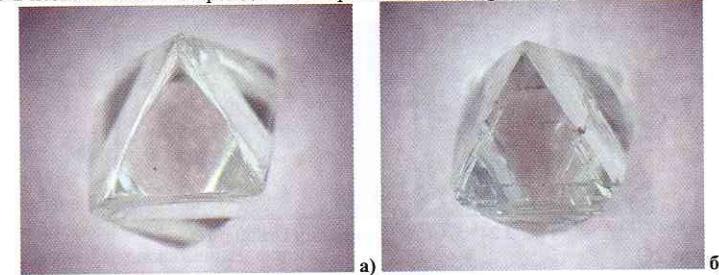


Рис. 3.22 а, б. Алмазы позиции Sawables 2Q

#### Sawables 3Q

Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; плоскограннныe, кривограннныe или с незначительной рельефностью поверхности;

с единичными небольшими включениями в различных зонах и с незначительными единичными трещинами в периферийной зоне на границе с промежуточной.

Примечание. Допускаются:

- Кристаллы с незначительной ступенчатостью, с незначительным искажением, дефекты единичные в различных зонах, хорошо видимые при 10x увеличении (Рис.3.23) ;
- Незначительные сколы по спайности от 1 вершины.

Для кривограннных кристаллов дефекты в виде:

- незначительного включения в центральной зоне;
- небольшого включения в промежуточной или периферийной зонах;
- наличие индукционной грани;
- додекаэроиды с каплевидно-блоковой скульптурой.



Рис. 3.23. Алмаз позиции Sawables 3Q

### Drilling

**Качество - 1-3Q;**

**Цвет не выделяется.**

Целые плоскограные, кривограные кристаллы, октаэдрического или додекаэдрического габитуса, их обломки и шпинелевые двойники

### Drilling 1Q

**Кристаллы:**

правильной формы или с незначительным, или с небольшим искажением; с различной рельефностью поверхности;

без дефектов или с большими единичными включениями (Рис.3.24. а,б) в различных зонах.

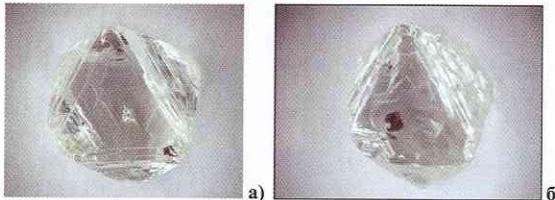


Рис. 3.24 а,б. Алмазы позиции Drilling 1Q

### Drilling 2Q

**Кристаллы:**

плоскогранные, кривограные правильной формы или с незначительным искажением или с небольшим искажением;

или с небольшой рельефностью поверхности;

с большими включениями в различных зонах (Рис.3.25а), или с мелкими рассеянными включениями в различных зонах (Рис.3.25б) и единичными трещинами в периферийной зоне.

Примечание. Допускаются кристаллы с вростками. Дефекты хорошо видимы при 6х увеличении.

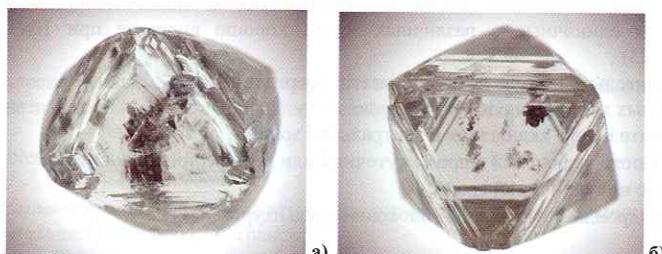


Рис. 3.25 а,б. Алмазы позиции Drilling 2Q

### Drilling 3

Целые плоскограные, кривограные кристаллы, октаэдрического или додекаэдрического габитуса, их обломки и шпинелевые двойники.

**Кристаллы:**

правильной формы или с незначительным, или с небольшим искажением;

с различной рельефностью поверхности;

с большими дефектами различных зонах (Рис.3.26 а,б).

**Обломки** плоскограных или кривограных кристаллов правильной формы или с незначительным, или с небольшим искажением;

с незначительной или небольшой рельефностью поверхности, с различными сколами; без дефектов.

**Шпинелевые двойники:** с незначительным, или с небольшим искажением;

с плоскими гранями или с незначительной рельефностью поверхности;

без дефектов или с небольшими, единичными включениями в различных зонах.

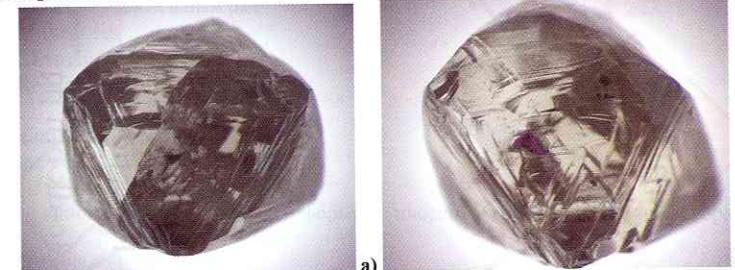


Рис. 3.26 а,б. Алмазы позиции Drilling 3Q

### Boart Mixed

**Качество: Mxd**

**Цвет:** не выделяется

Кристаллы и их обломки, закономерные и незакономерные сростки и их обломки (Рис.3.27):

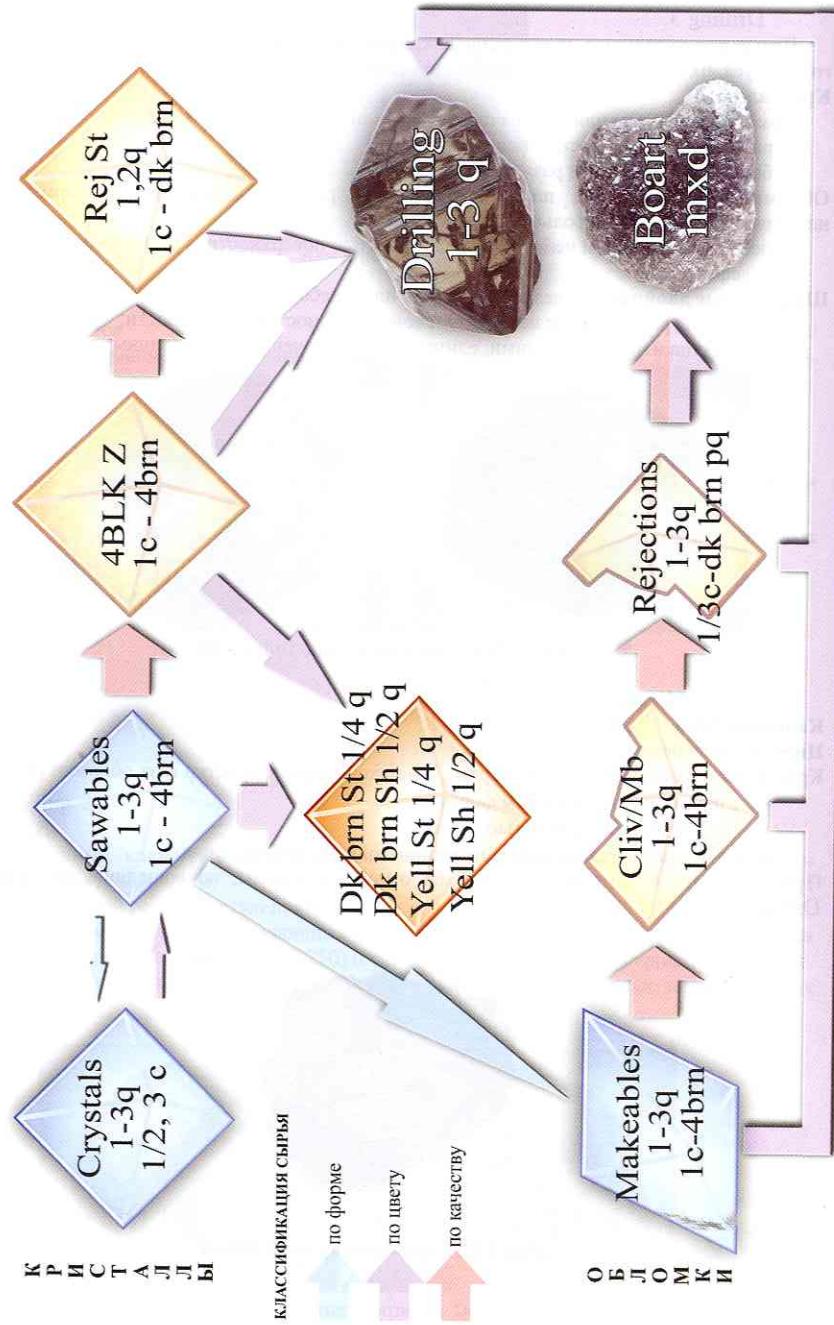
- с различным искажением формы;
- с различной рельефностью граней
- с большими включениями и трещинами в различных зонах.

Примечание. К позиции Boart Mixed относятся алмазы, не вошедшие по качеству в Drilling.



Рис. 3.27. Алмаз позиции Boart Mixed

# Структура классификации алмазов размерностей: -4+3; -5+4



## 3.9. Условные сортировочные классы -4+3, -5+4

### Новое:

Выделяются две группы алмазов – кристаллы и обломки.  
В кристаллах появляются дополнительные позиции по качеству:

- 4 BLACK SAWABLES
- REJECTIONS STONES
- позиция CRYSTALS делится на 3 качества

По цвету выделяются новые позиции:

- Dark Brown Stones
- Yellow Stones
- Dark Brown Shapes
- Yellow Shapes

В обломках самостоятельный ряд –

- Makeables
- Clivage Makeables
- Rejections

### Кристаллы: Crystals (Cr)

#### Качество: 1-3

#### Цвет: 1/2, 3с.

Целые кристаллы октаэдрической формы; с плоскими гранями и острыми ребрами.

#### Crystals 1Q

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, правильной формы или с незначительным искажением (Рис.3.28).

Допускается незначительное округление ребер.

Без дефектов или с незначительными, единичными включениями в приповерхностной части периферийной зоны

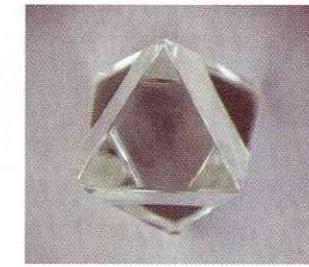


Рис. 3.28. Алмаз позиции Crystals 1Q

#### Crystals 2Q

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, правильной формы или с незначительным искажением.

Допускается незначительное округление ребер.

Дефекты незначительные в промежуточной или периферийной зонах. (Рис.3.29)

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, с небольшим искажением.

Допускается очень незначительное округление ребер.

Без дефектов.

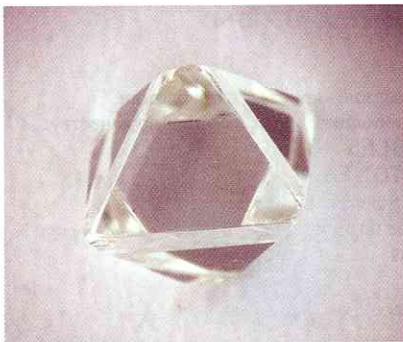


Рис.3.29. Алмаз позиции Crystals 2Q

### Crystals 3Q

#### Кристаллы:

плоскогранные острореберные, правильной формы или с незначительным искажением; с незначительным округлением ребер; с небольшими включениями в различных зонах (Рис.3.30а).

#### Кристаллы:

плоскогранные острореберные, с небольшим искажением формы; с небольшими включениями в периферийной или промежуточной зоне (Рис.3.30б).

Примечание. Допускаются:

- Незначительная рельефность поверхности 1-2 граней;
- Трещины в периферийной зоне.

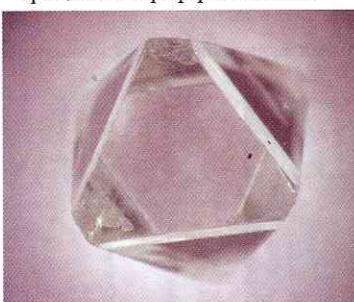


Рис. 3.30 а,б. Алмазы позиции Crystals 3Q

### Sawables (Z)

#### Качество: 1-3Q;

Цвет: ½, 3, 4, 1brn – 4 brn.

Все, что темнее, переходит в Dark Brown Stones 1/4Q

Целые плоскогранные и кривогранные кристаллы октаэдрического, додекаэдрического габитуса; с незначительной или с небольшой рельефностью поверхности.

### Sawables 1Q

#### Кристаллы:

Плоскогранные правильной формы или с незначительным или с небольшим искажением; с незначительной рельефностью граней; без дефектов (Рис.3.31).

Примечание. Допускается:

- небольшое округление ребер;
- 1-2 дополнительных ребра;
- каплевидно-блоковое строение граней;
- 1-2 точки пигментации на поверхности.



Рис. 3.31. Алмаз позиции Sawables 1Q

### Sawables 2Q

#### Кристаллы:

правильной формы или с незначительным или небольшим искажением; плоскогранные, кривогранные с незначительной рельефностью граней (Рис.3.32); Дефекты: незначительные единичные включения в различных зонах.

Примечание. Допускаются:

- Кристаллы с искажением 1:2 с незначительной ступенчатостью;
- Додекаэроиды «уральского» типа – бездефектные;
- Алмазы с небольшой ступенчатостью - бездефектные;
- Алмазы с незначительной и небольшой ступенчатостью с искажением до 1,5 - с единичными незначительными дефектами в центральной зоне кристалла (Рис. 3.22а) или с единичными небольшими - в периферийной;
- Кристалл с тонкослоистым полицентрическим ростом;
- Возможны фигуры травления, но не глубокие. Легкая коррозия поверхности 1-2 граней, но без матовой поверхности;
- Линии скольжения;
- 1-2 незначительно поврежденные вершины, но без трещин (Рис.3.32).



Рис. 3.32 Алмаз позиции Sawables 2Q

### Sawables 3Q

#### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением;

плоскогранные, кривогранные, с незначительной рельефностью граней; с единичными небольшими включениями в различных зонах и с незначительными единичными трещинами в периферийной зоне на границе с промежуточной.

Примечание. Допускаются:

- Кристаллы с незначительной ступенчатостью, с незначительным искажением - дефекты единичные в различных зонах, хорошо видимые при 10x увеличении (Рис.3.33а,б);
- Незначительные сколы по спайности от 1 вершины (Рис.3.20б).

Для кривограных кристаллов дефекты в виде:

- незначительного включения в центральной зоне;
- небольшого включения в промежуточной или периферийной зонах;
- наличие индукционной грани;
- додекаэроиды с каплевидно-блоковой скульптурой.



Рис. 3.33 а,б. Алмазы позиции Sawables 3Q

#### 4 Black Sawables (4 BLK Z)

Качество: одно

Цвет: 1, 2, 3, GRY, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2BLKBRN, 3/4BLKBRN

Кристаллы:

плоскогранные, кривогранные октаэдрического и додекаэдрического габитуса, с незначительной, с небольшой рельефностью граней;

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением;

с большими единичными включениями или мелкими рассеянными включениями в различных зонах, и с единичными небольшими трещинами в периферийной и промежуточной зонах.

Примечание.

Целые кристаллы пониженного качества, с искажением формы, как у SAWABLES (Рис.3.34а) и с различной рельефностью граней;

характерен единичный большой дефект (Рис.3.34б);

возможны трещины в периферийной зоне по спайности.

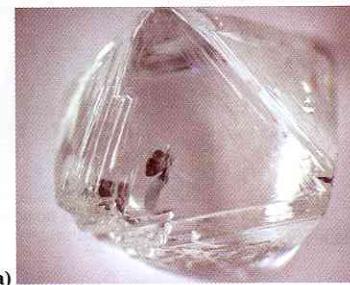
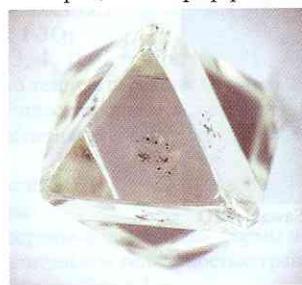


Рис. 3.34а,б. Алмазы позиции 4 Black Sawables

#### Rejection Stones(Rej St)

Качество: 1, 2Q;

Цвет: 1/3C, GRY, LTBRN & CLD, DKBRN

Целые кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса; с различной рельефностью граней; с большими включениями и секущими трещинами.

#### Rejection Stones 1Q

Кристаллы: (Рис.3.35а,б)

правильной формы и с небольшим искажением формы плоскогранные, кривогранные или с незначительной, или небольшой рельефностью поверхности; с большими включениями и с глубокими единичными, секущими трещинами.

Дефекты:

- большие дефекты в различных зонах, алмазы «пикированные»;
- секущая трещина;
- мелкие включения по всему объему;
- включения и трещины, в сумме занимают 1/3-1/5 объема камня;
- отсутствие не более 1 вершины.

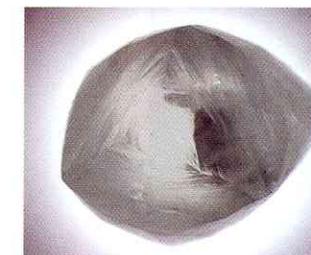


Рис. 3.35 а,б. Алмазы позиции Rejection Stones 1Q

#### Rejection Stones 2Q

Кристаллы:

правильной формы и с небольшим искажением формы с плоскими гранями, или с незначительной, или небольшой рельефностью граней, или с округлыми или ступенчатыми гранями.

Дефекты:

- включения и трещины различного размера во всем массиве кристалла, со свободной от дефектов зоной 1/3 части кристалла (Рис.3.36);
- допускаются сколы по спайности;
- 2-3 секущие трещины.



Рис. 3.36. Алмаз позиции Rejection Stones 2Q

## Industrial Serie (Ind Serie)

### Dark Brown Stones (DkBrn St)

Качество: 1/4Q;

Цвет: Dark Brown

Целые кристаллы октаэдрического и ромбододекаэдрического габитуса; плоскограные кривограные; насыщенной коричневой окраски, отбирают для инструмента, но могут использоваться и для изготовления бриллиантов.

### Yellow Stones (Yell St)

Качество: 1/4Q;

Цвет: YELLOW

Кристаллы:

правильной формы, или с незначительным искажением; плоскограные, кривограные, с незначительной ступенчатостью; без дефектов, или с незначительными, единичными включениями в различных зонах; или с небольшими включениями в периферийной и промежуточной зоне и трещинами в промежуточной зоне.

### Dark Brown Shapes (DkBrn Sh)

Качество: 1/2Q;

Цвет: Dark Brown

### Yellow Shapes (Yell Sh)

Качество: 1/2Q;

Цвет: Yellow

Кристаллы:

с незначительным искажением формы или искаженные; плоскограные, кривограные или с незначительной ступенчатостью; без дефектов или с незначительными, единичными включениями и трещинами в промежуточной зоне.

### Drilling (Dril)

Качество: 1-3;

Цвет: не выделяется

Целые кристаллы октаэдрического и ромбододекаэдрического габитуса; плоскограные, кривограные; различного цвета, отбирают для изготовления бурового инструмента.

### Drilling 1Q

Целые кристаллы октаэдрического и ромбододекаэдрического габитуса; плоскограные, кривограные; выделяются из позиций SAWABLES и 4 BLACK SAWABLES различного цвета.

### Drilling 2Q

Отбираются кристаллы из позиций Rejections Stones 1Q по цвету и из Makeables 1Q и Makeables 2Q цветные.

### Drilling 3Q

Выделяются по цвету из позиций Rejections Stones 2Q, Makeables, Clivage/Makeable, бездефектные янтарно-желтые кубы II разновидности, по классификации Ю.Л. Орлова.

## Обломки

### Makeables (Mb)

Качество: 1-3Q;

Цвет: 1, 2C;

К: 1/2, 3Q;

Цвет: CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4 BLKBRN

Целые кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса; кристаллы со сколами, обломки кристаллов, шпинелевые двойники, с различным искажением и рельефностью граней, пригодные к огранке.

### Makeables 1Q

Кристаллы и их обломки:

с различным искажением формы; плоскограные, кривограные с незначительной, с небольшой ступенчатостью, ступенчатые, округло-ступенчатые, со сколами по спайности; без дефектов (Рис.3.37).

Шпинелевые двойники:

с незначительным, с небольшим искажением формы; плоскограные; без дефектов.



Рис.3.37. Алмаз позиции Makeables 1Q

### Makeables 2Q

Кристаллы и их обломки:

с различным искажением формы; ступенчатые, округло-ступенчатые, с различными сколами; с небольшими включениями в периферийной и промежуточной зоне (Рис.3.38).

Шпинелевые двойники:

с различным искажением формы; с различной рельефностью граней; с небольшими включениями в периферийной зоне и зоне срастания.



Рис.3.38 Алмаз позиции Makeables 2Q

### Makeables 1/2Q

Выделяется по цвету из позиций Makeables 1Q, Makeables 2Q

Цвет: CP, 1BRN- 4BRN, 1/2BLKBRN , 3/4 BLKBRN

### Makeables 3Q

Цвет:1, 2, CP, 1BRN- 4BRN, 1/2BLKBRN , 3/4 BLKBRN

#### Кристаллы и их обломки:

с различным искажением;

с различной рельефностью граней, с различными сколами;

Дефекты небольшие в периферийной или промежуточной зонах (Рис.3.39).

#### Шпинелевые двойники и их обломки:

с различным искажением формы;

с различной рельефностью граней;

с включениями и трещинами в периферийной зоне.



Рис.3.39. Алмаз позиции Makeables 3Q

### Clivage/Makeable (Cliv/Mb)

Качество: одно;

Цвет:1-3C, GRY, CLD, CP, 1LTPQ, 2/3LTPQ, CLDLTPQ, LTBRNPQ, DKBRNPQ, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

Кристаллы изометричные, с небольшим искажением и их обломки;

шпинелевые двойники и их обломки,

незакономерные сростки,

кристаллы с вростками.

Сырье, пригодное для раскалывания

Дефекты:

- единичные большие включения или трещины (Рис.3.40а,б);
- несколько небольших дефектов в различных зонах или множество незначительных включений по объему кристалла;
- кристаллы с секущими трещинами.

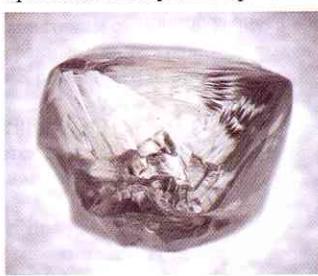


Рис. 3.40 а,б. Алмазы позиции Clivage/Makeable

### Rejections (REJ)

Качество: 1-3Q;

Цвет:1-3C, LTPQ, LTBRNPQ & CLDPQ, DKBRNPQ.

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и их обломки, сростки с большими и очень большими включениями и глубокими трещинами.

### Rejections 1Q

Обломки кристаллов, кристаллы с вростками (Рис.3.41а)

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные; плоскогранные, кривограные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней; с большими включениями и трещинами в различных зонах.

Шпинелевые двойники:

с незначительным, с небольшим искажением формы, искаженные;

плоскогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней;

с большими включениями и трещинами в различных зонах.

Незакономерные сростки с большими дефектами (Рис.3.41б).

Примечание. Дефекты различного характера и размера, но занимают не более 60% объема камня (или 40-50% сконцентрированного бездефектного объема).



а)

б)

Рис. 3.41а,б. Алмазы позиции Rejections 1Q

### Rejections 2Q

Кристаллы изометричные и уплощенные и их обломки с многочисленными большими дефектами.

Шпинелевые двойники и их обломки и незакономерные сростки: (Рис.3.42а,б)

с незначительным, с небольшим искажением формы, искаженные;

плоскогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней;

с единичными, очень большими включениями и трещинами в различных зонах.

Примечание. Камни заполнены множеством дефектов, с рассеянными чистыми зонами (5-20%).



а)

б)

Рис. 3.42а,б. Алмазы позиции Rejections 2Q

### Rejections 3Q

## Обломки кристаллов и незакономерных сростков:

различной формы;  
с различной рельефностью граней;  
с большими и очень большими включениями в различных зонах, трещинами и вростками (Рис.3.43а,б).



Рис. 3.43а,б. Алмазы позиции Rejections 3Q

### Boart Mixed (Brt Mxd)

Качество:MXD;

Цвет: не выделяется.

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники, незакономерные сростки (Рис.3.44а,б) и их обломки различного цвета, различной формы;

с различной рельефностью граней;

с очень большими, многочисленными включениями и глубокими трещинами.

Отбирают для изготовления абразива.

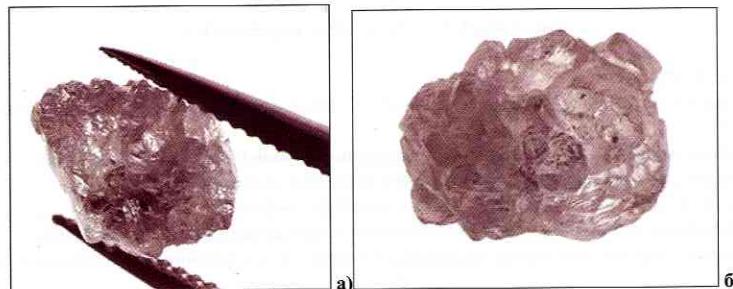
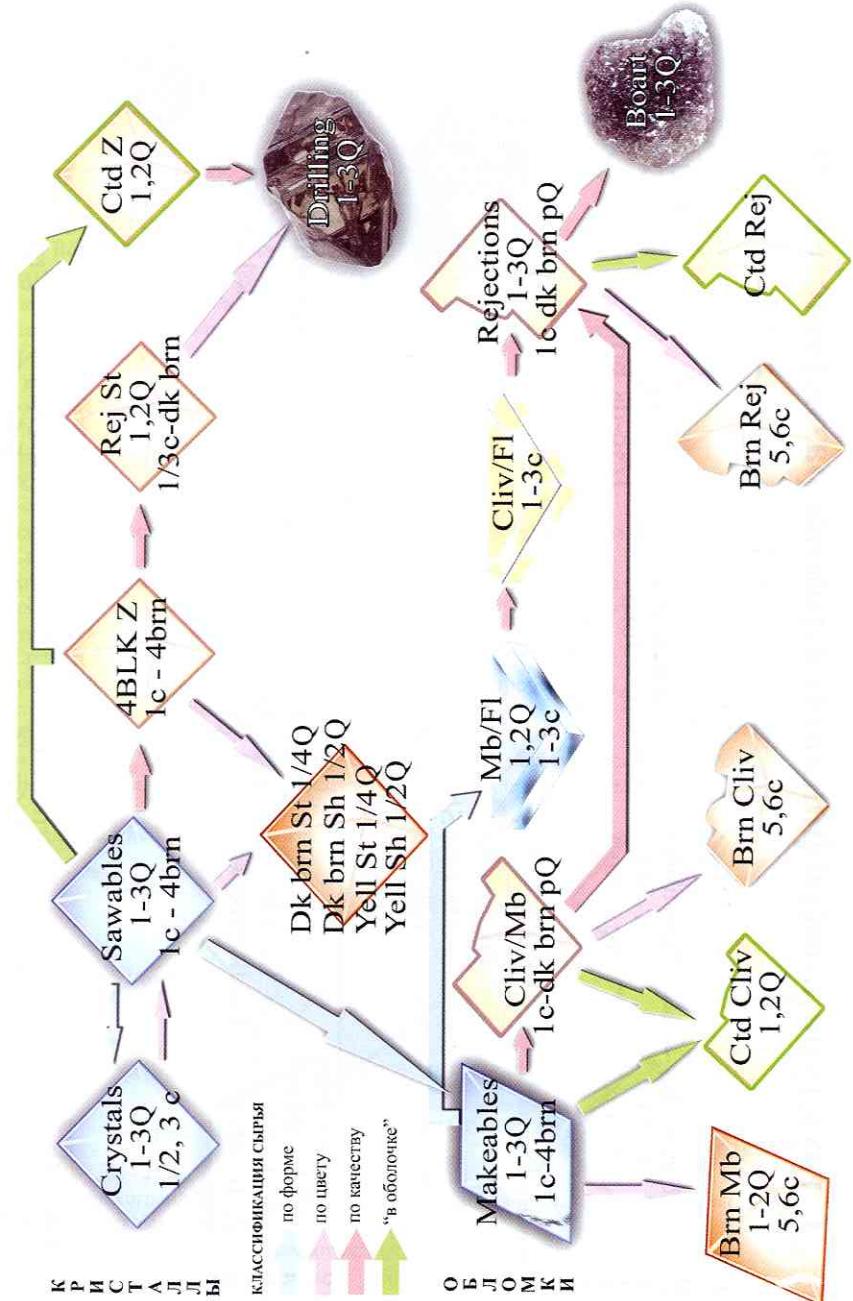
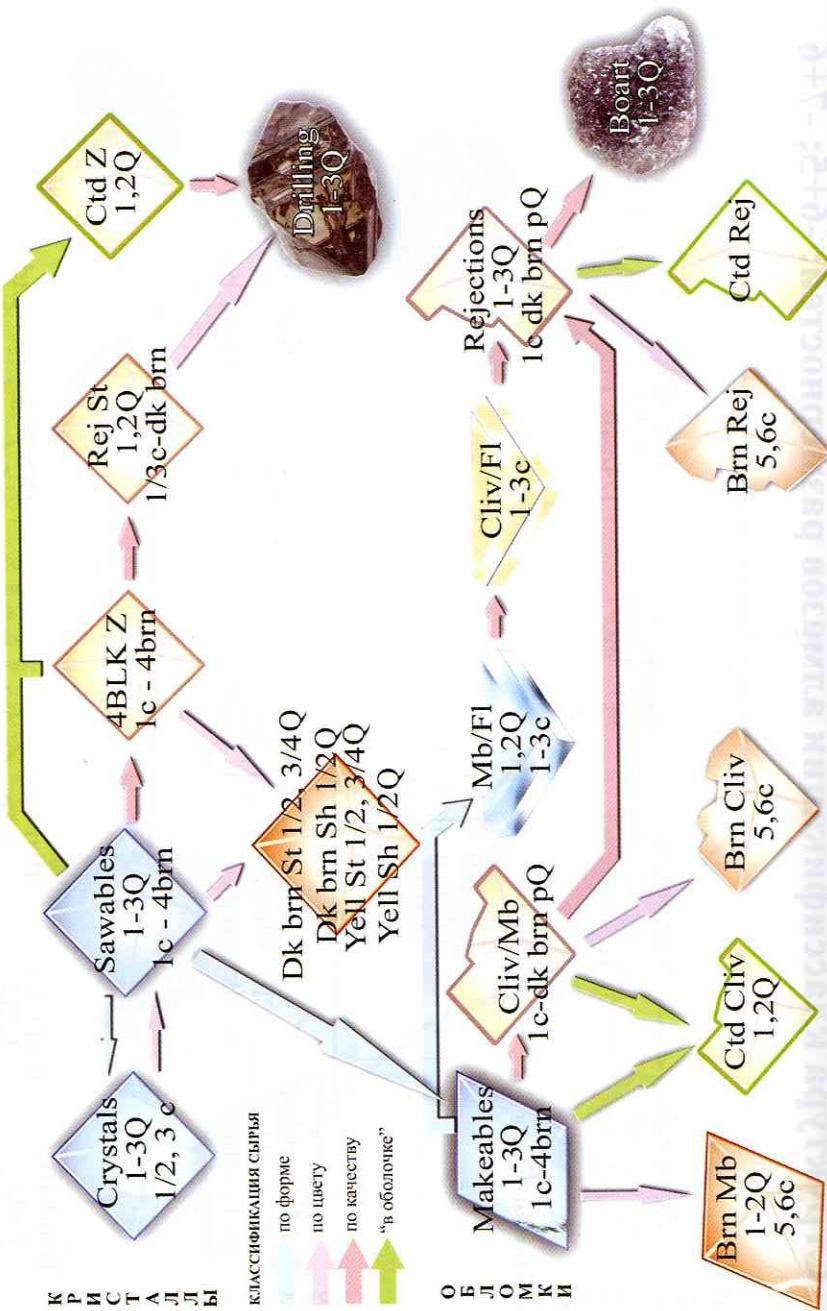


Рис.3.44. Алмазы позиции Boart Mixed

Структура классификации альмазов размерностей: -6+5; -7+6



## Структура классификации алмазов размерностей: -9+7



## 3.10. Условные ситовые классы -6+5, -7+6, -9+7

### Новое:

По сравнению с предыдущими классами крупности появились:

- новые позиции алмазов в оболочке: Coated Sawables, Coated Clivage, Coated Rejections
- новые позиции плоских алмазов: Makeable Flats, Clivage Flats
- новые позиции коричневых алмазов (темнее 4 brown): Brown Makeable, Brown Clivage, Brown Rejections

В позиции Boart появилось 3 качества Boart 1,2,3/F.

В классе крупности -9+7 изменился

- цветовой ряд в позициях Rejections, Rejections Stones
- качественный ряд в позициях: Dark Browne Stones, Dark Browne Shapes, Yellow Stones, Yellow Shapes

### Группа кристаллов:

Crystals (Cr)

Качество: 1-3

Цвет:  $\frac{1}{2}$ , 3c.

Целые кристаллы октаэдрической формы;  
плоскогранные, острореберные правильные и с незначительным искажением.

Crystals 1Q

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, правильной формы или с незначительным искажением.

Допускается незначительное округление ребер. Без дефектов.

Crystals 2Q

Алмазы октаэдрического габитуса, плоскогранные, острореберные, правильной формы, с незначительным, небольшим искажением.

Допускается незначительное округление ребер.

Примечание. 1. Допускается округление ребер в кристаллах с искажением до 1,8.

2. Дефекты в виде единичных включений, видимых при 10x увеличении в различных зонах.

3. Кристаллы с небольшим искажением - бездефектные (Рис. 3.45).

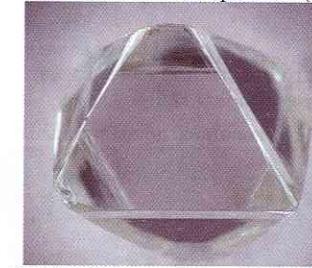


Рис. 3.45. Алмаз позиции Crystals 2Q

Crystals 3Q

Кристаллы: плоскогранные, острореберные, правильной формы, с незначительным искажением; с незначительным округлением ребер.

Дефекты: небольшие в различных зонах.

Кристаллы:

плоскогранные, острореберные, с небольшим искажением формы.

Дефекты: небольшие включения в периферийной или промежуточной зоне.

Примечание. Допускаются: 1. Незначительная рельефность поверхности 1-2 граней;  
 2. Трещины в периферийной зоне;  
 3. Дефекты единичные хорошо видимые при 6х увеличении в периферийной и промежуточной зонах (Рис.3.46);  
 4. Центральная зона должна быть бездефектной.

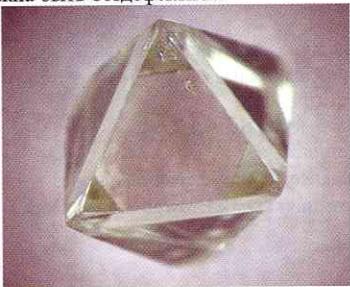


Рис.3.46. Алмаз позиции Crystals 3Q

#### Sawables (Z)

Качество: 1-3Q;  
 Цвет: 1-4C, CP, 1-4BRN

Все, что выходит за рамки образца распределяются следующим образом:

CR, Z 1-2Q - DARK BRN ST 1/2Q;

Z3Q, 4BZ - DARK BRN ST 3/4Q;

уплощ.Z1Q - DARK BRN SH1Q;

уплощ.Z2-3Q - SH2Q;

CR,Z1-2Q - YELLOW ST1/2Q;

Z3Q, 4BLKZ - ST3/4Q;

уплощ.Z1Q - YELLOW SH1Q;

уплощ.Z2-3Q - SH2Q.

Целые кристаллы правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней октаэдрического и додекаэдрического габитуса.

#### Sawables 1Q

##### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным искажением;

с незначительной рельефностью;

без дефектов (Рис.3.47).

Примечание. Возможны: 1-2 коротких дополнительных ребра; незначительная ступенчатость на 2-3 гранях.



Рис. 3.47. Алмаз позиции Sawables 1Q

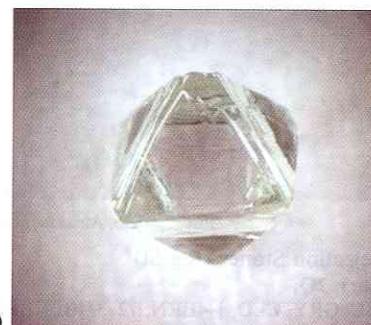
#### Sawables 2Q

Плоскогранные и кривограные кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы изометричные, с незначительным, небольшим искажением.

• Для алмазов изометричных или с незначительным искажением возможны незначительные единичные дефекты в центральной зоне или небольшие единичные в периферийной (фигуры травления, но не глубокие; 1-2 незначительно поврежденные вершины, но без трещин; коррозия поверхности 1-2 граней, но без матовой поверхности; линии скольжения) (Рис.3.48а).

• Для кристаллов с небольшим искажением допускаются незначительные включения в периферийной зоне.

• Кристаллы с небольшим искажением и небольшой рельефностью граней – без дефектов (Рис 3.48б).



а) б)

Рис. 3.48 а, б Алмазы позиции Sawables 2Q

#### Sawables 3Q

##### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным искажением;

гладкогранные, с незначительной рельефностью;

с небольшими, единичными включениями в различных зонах.

##### Кристаллы:

с небольшим искажением формы;

гладкогранные, с незначительной рельефностью.

Дефекты в виде небольшого включения явно видимого (Рис.3.49), или группы локализованных точечных включений в промежуточной или периферийной зонах или с незначительными единичными включениями в центральной зоне.



Рис.3.49. Алмаз позиции Sawables 3Q

#### 4 Black Sawables (4 BLK Z)

**Качество: одно;**

**Цвет:** 1-3C, GRY, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN.

Кристаллы пониженного качества, с искажением формы, как у SAWABLES гладкогранные, с незначительной и небольшой рельефностью граней.

Характерен единичный большой дефект (Рис. 3.50 а, б): большие единичные включения в различных зонах; возможны трещины в периферийной зоне по спайности.

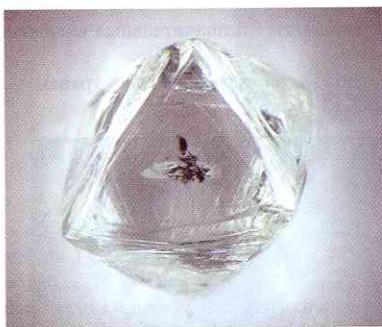


Рис. 3.50 а, б. Алмазы позиции 4 Black Sawables

#### Rejection Stones (Rej St)

**Качество: 1, 2Q;**

**Цвет:** 1-3C, GRY, CLD, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы; плоскогранные, плоскогранно-кривогранные, округлые; с различной рельефностью граней; с большими включениями и секущими трещинами.

#### Rejection Stones 1Q (RejSt 1Q)

**Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; с различной рельефностью граней.

**Дефекты:** большие дефекты в различных зонах, алмазы «пикированные» (Рис.3.51б); секущая трещина; мелкие включения по всему объему; включения и трещины, в сумме занимают 1/3 -1/5 объема камня (Рис.3.51а); отсутствие не более 1 вершины.

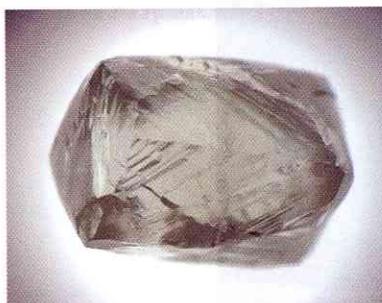


Рис. 3.51 а, б. Алмазы позиции Rejection Stones 1Q

#### Rejection Stones 2Q

**Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением формы; с различной рельефностью граней.

**Дефекты** в виде: включения и трещины различного масштаба во всем массиве кристалла, со свободной зоной 1/3 части кристалла (Рис.3.52а); 4-5 целых вершин; сколы по граням; несколько секущих трещин (Рис.3.52б); алмазы с большими и очень большими включениями, в сочетании с мелкими рассеянными включениями в различных зонах.



Рис 3.52 а, б Алмазы позиции Rejection Stones 2Q

#### Coated Sawables (Ctd Z)

**Качество: 1,2**

**Цвет:** не выделяется.

#### Coated Sawables 1Q (Ctd Z 1Q)

Выделяются алмазы в оболочке по форме и качеству соответствующие алмазам позиций Sawables 1,2 Q (Рис.3.53 а, б).



Рис.3.53 а, б. Алмазы позиции Coated Sawables 1Q

#### Coated Sawables 2Q (Ctd Z 2Q)

Выделяются алмазы в оболочке из позиций Sawables 3 Q , 4 BLK Z (Рис.3.54)



Рис.3.54. Алмаз позиции Coated Sawables 2Q

### Industrial Serie (Ind Serie)

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы; густо окрашенные, отбирают для инструмента, но могут использоваться и для изготовления бриллиантов.

#### Dark Brown Stones (DkBrn St)

Качество: 1/2, 3/4Q;  
Цвет: Dark Brown

#### Yellow Stones (Yell St)

Качество: 1/2, 3/4Q;  
Цвет: Yellow  
1/2Q  
Выделяются алмазы по цвету из позиций Sawables 1, 2Q и верх 3Q.  
3/4Q  
Выделяются по цвету из позиций Sawables 3Q и верх 4Blk Z.

#### -9+7 Dark Brown Shapes (DkBrn Sh)

Качество: 1, 2Q;  
Цвет: Dark Brown

#### -9+7 Yellow Shapes (Yell Sh)

Качество: 1, 2Q;  
Цвет: Yellow  
1Q  
Кристаллы:  
с небольшим искажением формы, искаженные;  
гладкогранные, с незначительной рельефностью граней;  
без дефектов.  
2Q

Кристаллы:  
с небольшим искажением формы, искаженные;  
гладкогранные, с незначительной рельефностью граней;  
с незначительными, единичными включениями и трещинами в периферийной зоне.

#### -7+5 Dark Brown Stones (DkBrn St)

Качество: 1/4Q;  
Цвет: Dark Brown  
Выделяются по цвету коричневого ряда из позиций Sawables 1-3Q и 4Blk Z (верх).

#### -7+5 Yellow Stones (Yell St)

Качество: 1/4Q;  
Цвет: Yellow  
1/4Q  
Выделяются по цвету из позиций Sawables 1-3Q и 4Blk (верх)

#### -7+5 Dark Brown Shapes (DkBrn Sh)

Качество: 1/2Q;  
Цвет: Dark Brown

### Yellow Shapes (Yell Sh)

Качество: 1/2Q;

Цвет: Yellow

1/2Q

Кристаллы:

с небольшим искажением формы или искаженные;  
гладкогранные, с незначительной рельефностью граней; без дефектов или с незначительными, единичными включениями и трещинами в промежуточной зоне.

#### Drilling (Drill)

Качество: 1-3Q;

Цвет: не выделяется

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы;  
различного цвета, отбирают для изготовления бурового инструмента.

#### Drilling 1Q

Отсортировываются алмазы по цвету из позиций 4Blk (низ качества).

#### Drilling 2Q

Отбираются кристаллы из позиций по цвету Rejections Stones 1Q, алмазы в оболочке по дефектности соответствующие позиции Rejections Stones 1Q.

#### Drilling 3Q

Выделяются по цвету из позиций Rejections Stones 2Q, алмазы в оболочке по дефектности соответствующие позиции Rejections Stones 2Q.

Примечание. Позиция включает бездефектные янтарно-желтые кубы II разновидности, по классификации Ю.Л. Орлова.

Группа обломков:

Makeable

Качество: 1-3Q;

Цвет: 1-2C, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4 BLKBRN

Кристаллы с искажением, уплощенные, с различной рельефностью граней, их обломки, шинелевые двойники.

Кристаллы и их обломки, пригодные к огранке.

#### Makeable 1Q

Кристаллы:

ступенчатые, округло-ступенчатые;

с различным искажением формы (Рис. 3.55а);

без дефектов.

Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением;

гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью;

с природными сколами, поверхность скола ровная (Рис. 4.66);

без дефектов.

Шинелевые двойники:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением;

плоскогранные, с незначительной рельефностью;

без дефектов.



Рис.3.55 а,б. Алмазы позиции Makeable 1Q

#### Makeable 2Q

##### Кристаллы:

ступенчатые, округло-ступенчатые;  
с различным искажением формы;  
с небольшими дефектами в периферийной или промежуточной зонах (Рис.3.56а).

##### Кристаллы и их обломки:

с механическими сколами, с различным искажением формы;  
плоскогранные или с незначительной, небольшой ступенчатостью;  
с небольшими дефектами в периферийной или промежуточной зонах (Рис. 3.56б).

##### Шпинелевые двойники:

с искажением 1:3; с различной рельефностью граней;  
с незначительными, единичными включениями в периферийной или промежуточной зонах, незначительные следы прорастания.

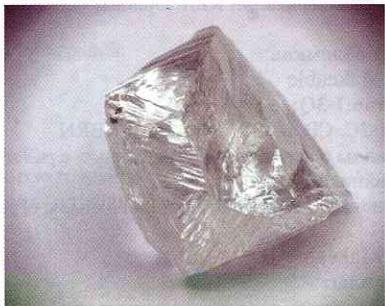


Рис. 3.56 а,б. Алмазы позиции Makeable 2Q

#### Makeable 3Q

Те же формы, что и в Makeable 2Q + обломки с искажением 1:4.

Дефекты хорошо видимые в промежуточной и периферийной зонах.

В кристаллах допускаются небольшие включения в центральной зоне, трещины - в периферийной (Рис.3.57а).

##### Шпинелевые двойники:

с незначительными, единичными включениями, в центральной зоне, или большие включения в периферийной зоне, следы прорастания до центральной зоны (Рис.3.57б).



Рис. 3.57 а,б. Алмазы позиции Makeable 3Q

б)

#### Clivage/Makeable (Cliv/Mb)

##### Качество: одно;

Цвет: 1-3С, GRY, CLD, CP, 1LTPQ, 2/3LTPQ, CLDLTPQ, LTBRNPQ, DKBRNPQ, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

Сыре, пригодное для раскалывания.

Монокристаллы, обломки монокристаллов, изометричные и с небольшим искажением, шпинелевые двойники и их обломки,

незакономерные сростки 2-х кристаллов, кристаллы с вростками.

Дефекты (Рис.3.58 а, б): единичные большие включения или трещины; несколько небольших дефектов в различных зонах; множество незначительных дефектов по объему кристалла; кристаллы с секущей трещиной.



Рис. 3.58 а,б. Алмазы позиции Clivage/Makeable

б)

#### Makeable Flats (Mb Fl)

##### Качество: 1-2Q;

Цвет: 1-3С.

Кристаллы и их обломки плоскограные, с незначительной рельефностью;

шпинелевые двойники;

с очень большим искажением формы и пластинчатые.

#### Makeable Flats 1Q

##### Кристаллы и шпинелевые двойники:

с большим и очень большим искажением формы, пластинчатые; с плоскими гранями, с незначительной рельефностью;  
без дефектов (Рис 3.59).

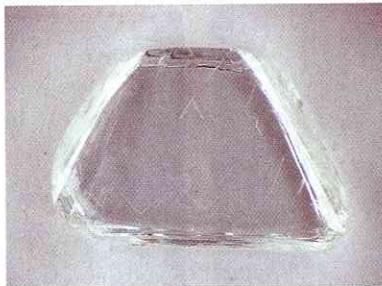


Рис. 3.59. Алмаз позиции Makeable Flats 1Q

#### Makeable Flats 2Q

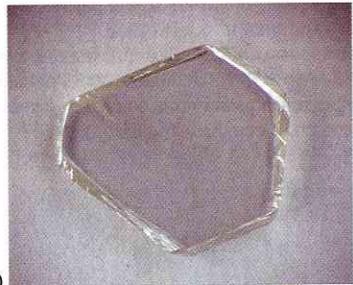
##### Кристаллы и их обломки, шпинелевые двойники:

с большим и очень большим искажением формы, пластинчатые, с плоскими гранями, или с незначительной ступенчатостью, с механическими сколами.

**Дефекты:** несколько незначительных включений в периферийной зоне; одно небольшое включение в периферийной зоне (Рис.3.60а); трещина по спайности (Рис.3.60б).



Рис. 3.60 а, б. Алмазы позиции Makeable Flats 2Q



#### Clivage Flats (Cliv Fl)

##### Качество: одно;

Цвет: 1-3С.

##### Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и их обломки:

с различными сколами; с большим и очень большим искажением формы, пластинчатые; с незначительной или с небольшой рельефностью.

**Примечание.** Дефекты в периферийной и промежуточной зонах:

небольшие единичные включения и трещины (Рис. 3.61а); несколько мелких трещин (Рис. 3.61б).



Рис. 3.61 а, б. Алмазы позиции Clivage Flats



#### Rejections (ReJ)

-9+7

##### Качество: 1-3Q;

Цвет: 1-3С, GRY, CLD, CP, 1LTPQ, 2/3LTPQ, CLDLTPQ, LTBRNPQ, DKBRNPQ, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN  
-7+6 ; -6+5

##### Качество: 1-3Q

Цвет: 1-3С, LTPQ LTBRNPQ & CLDPQ, DKBRNPQ

Кристаллы с вростками, обломки кристаллов, шпинелевые двойники и их обломки, сростки с большими и очень большими включениями и глубокими трещинами.

#### Rejections 1Q

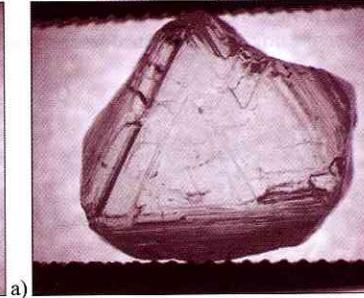
Кристаллы с вростками, обломки кристаллов, шпинелевые двойники и их обломки, сростки;

с различной рельефностью граней; правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные; с большими и очень большими включениями и глубокими трещинами (Рис.3.62а,б).

**Примечание.** Дефекты различного характера и размера, но должны занимать не более 70% массива камня (25-30% сконцентрированного чистого объема).



Рис. 3.62 а, б. Алмазы позиции Rejections 1Q



#### Rejections 2Q

##### Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и их обломки, незакономерные сростки:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;

с различной рельефностью граней; с единичными, очень большими включениями и трещинами в различных зонах.

**Примечание.** Свободно от дефектов 10-20% объема кристалла (Рис. 3.63)



Рис. 3.63. Алмазы позиции Rejections 2Q

### Rejections 3Q

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и их обломки, прозрачные крупнозернистые сростки с включениями, камни забиты множеством дефектов, с рассеянными чистыми зонами 5-10% (Рис.3.64а,б).

Примечание. В эту позицию отсортировываются по качеству дефектное сырье из позиции Clivage Flats.



а)  
Рис. 3.64 а,б. Алмазы позиции Rejections 3Q



б)

### Coated Clivage

### Coated Clivage 1Q

Алмазы в оболочке по дефектности соответствуют позициям MB 1,2Q (Рис. 3.65а,б).



а)  
Рис. 3.65 а,б. Алмазы позиции Coated Clivage 1Q



б)

### Coated Clivage 2Q

Алмазы в оболочке соответствуют уровню дефектности позиций MB 3Q (Рис. 3.66а), и Cliv/Mb (Рис.3.66б).



а)  
Рис. 3.66 а,б. Алмазы позиции Coated Clivage 2Q



б)

### Coated Rejections

Выделяются алмазы в оболочке из позиций REJ 1Q (Рис.3.67а) и REJ 2Q (Рис.3.67б).



а) б)

Рис. 3.67 а,б. Алмазы позиции Coated Rejections

### Brown Makeable (Brn Mb)

Качество: 1, 2Q;

Цвет: 5, 6BRN.

Кристаллы, шпинелевые двойники и их обломки:

с различным искажением; и рельефностью граней; коричневые и темно-коричневые.

### Brown Makeable 1Q

Отсортировываются алмазы по цвету из позиций Makeable 1-2Q.

### Brown Makeable 2Q

Выделяются по цвету из позиции Makeable 3Q.

### Brown Clivage (Brn Cliv)

Качество: одно;

Цвет: 5/6BRN

Выделяются по цвету из позиции Clivage Makeable.

### Brown Rejections (Brn Rej)

Качество: одно;

Цвет: 5/6BRN

Выделяются по цвету из позиций Rejections 1-2Q.

### Boart (Brt)

Качество: 1-3Q;

Цвет: не выделяется.

Кристаллы, шпинелевые двойники, незакономерные сростки и их обломки различного цвета, отбирают для изготовления абразива.

### Boart 1Q

Кристаллы и их обломки, шпинелевые двойники:

правильной формы, или с незначительным, или с небольшим искажением формы, или искаженные;

с различной рельефностью граней;

с очень большими включениями и глубокими секущими трещинами (Рис. 3.68а,б).

Примечание. Всевозможные формы, абсолютно дефектные, непрозрачные, слабо пропускающие свет; обломки, двойники, крупнозернистые сростки с таким множеством дефектов, что камни не просматриваются (окна, свободные от дефектов не более 1%).



a)



б)

Рис. 3.68 а,б. Алмазы позиции Boart 1Q



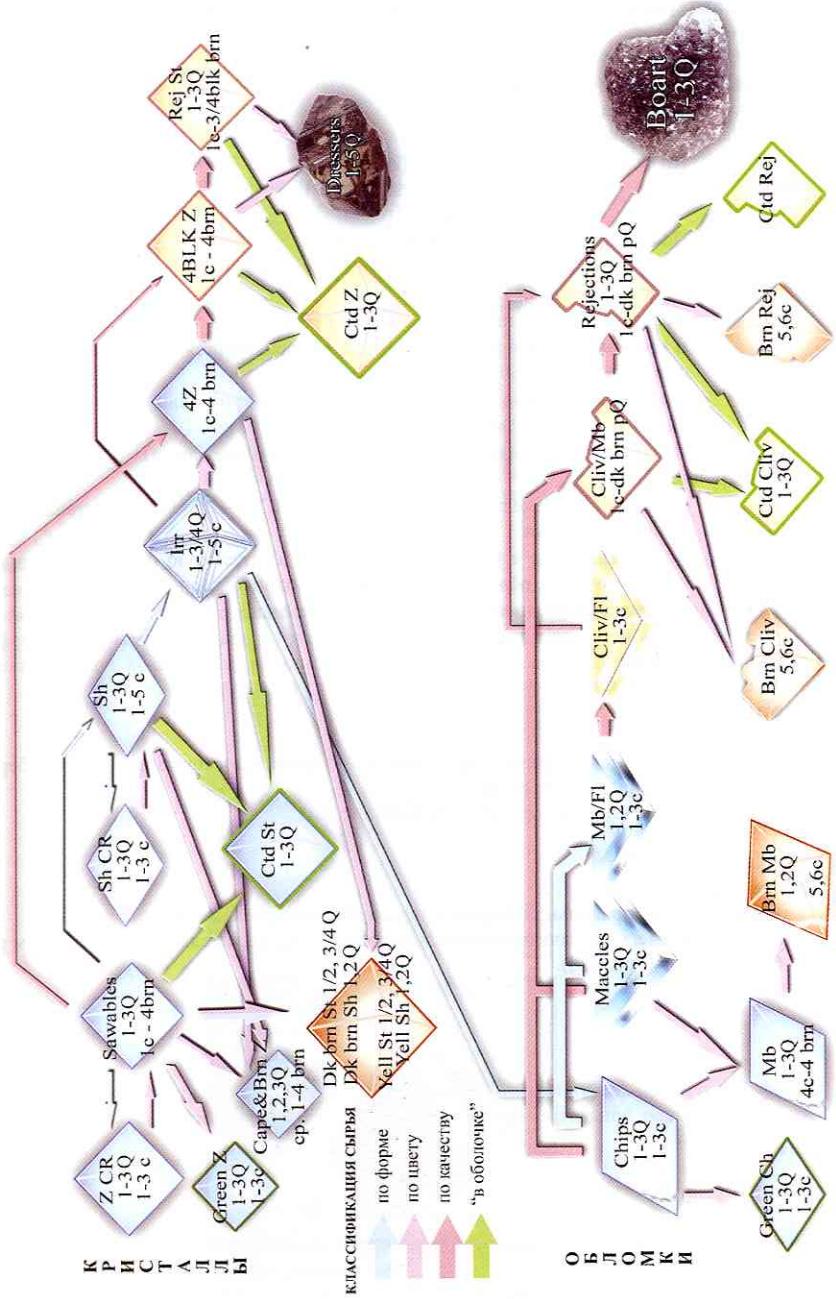
a)



6

Рис. 3.69 а,б. Алмазы позиции Boart 2Q

## Структура классификации алмазов размерностей: -11+9



### 3.11. Характеристика позиций и групп качества алмазов размерно-весовой группы -11+9

#### Новое по сравнению с группой -9+5:

##### 1. В группе кристаллов:

появилась позиция:

По форме - Crystals: Sawables (ZCr),  
Shaped Crystals (Sh Cr),  
Irregulars: (Irr);

По качеству - Sawables 4 th quality (4 Z);

Коричневый ряд кристаллов выделяется в отдельную позицию начиная с саре (желтого): «Cape&Brn Z»;

Новая позиция алмазов в оболочке: Ctd St;

В позициях Dk Brn St, Sh; Yell St, Sh раскладывается качественный ряд: ½, 3, 4 q (в St) и 1, 2 q (в Sh);

Появилась новая позиция «Green Z» (зелёные кристаллы);

Не стало позиции Drilling.

Появилась новая позиция «Dressers» (технические камни).

##### 2. В группе обломков:

Позиция Mb разделилась по форме: Chips (Ch) – обломки кристаллов; Maccles (Mac) – двойники;

Коричневый ряд в Ch и Mac выделился в отдельную позицию, начиная с 4c «Col&Brn Mb»; (обломки и двойники объединены);

Появилась новая позиция «Green Ch» (зелёные);

#### Группа кристаллов:

Sawable Crystals (Z Cr)

Качество: 1-3Q;

Цвет: 1- 3C.

Целые кристаллы октаэдрические правильной формы; плоскограные, острореберные, с незначительным округлением ребер.

По уровню дефектности сортируются как Sawables.

#### Sawable Crystals 1Q

##### Кристаллы:

октаэдрические правильной формы, с незначительным искажением;  
плоскограные, с незначительной рельефностью, с незначительным округлением ребер;  
без дефектов (Рис.3.70).

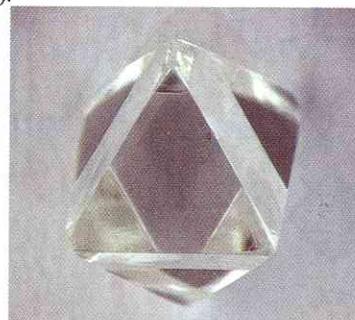


Рис.3.70. Алмаз позиции Sawable Crystals 1Q

#### Sawables Crystals 2Q

##### Кристаллы:

октаэдрические правильной формы, с незначительным искажением, острореберные (Рис.3.71), плоскограные, с незначительной рельефностью, с незначительным округлением ребер;

с незначительными, единичными включениями в периферийной зоне.

Примечание. В кристалле не менее 1-ой остроугольной вершины, допускаются каналы травления в объеме периферийной зоны.



Рис.3.71. Алмаз позиции Sawable Crystals 2Q

#### Sawables Crystals 3Q

##### Кристаллы:

октаэдрические правильной формы, с незначительным искажением;  
плоскограные, с незначительной рельефностью, с незначительным округлением ребер.  
Дефект в виде незначительных точечных включений в различных зонах, допускается не-значительный скол, возможно с трещиной по спайности в поверхностной зоне (Рис.3.72).

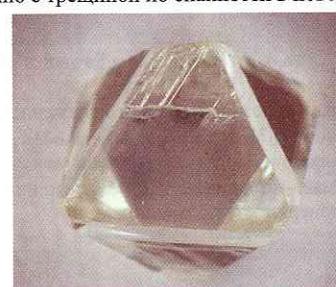


Рис. 3.72 Алмаз позиции Sawable Crystals 3Q

#### Sawables (Z)

Качество:1-3Q;

Цвет: 1-5c

Целые кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса, правильной формы или с незначительным искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней.

#### Sawables 1Q

##### Кристаллы:

правильной формы и с незначительным искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней (Рис.3.73); без дефектов.

Примечание. Допускаются: 1-2 ложных коротких ребра.



Рис.3.73. Алмаз позиции Sawables 1Q

Sawables 2Q

**Кристаллы:** правильной формы и с незначительным искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней (Рис.3.74а,б).

Дефекты: 1-2 незначительных включения в промежуточной и периферийной зоне.



Рис. 3.74 а,б. Алмазы позиции Sawables 2Q

Sawables 3Q

**Кристаллы:** правильной формы и с незначительным искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней (Рис.3.75).

Дефекты: незначительное включение в центральной зоне; небольшое включение или группа локализованных точечных включений в промежуточной или периферийной зонах (Рис.25б); 1-2 незначительные поверхностные трещины.



Рис. 3.75. Алмаз позиции Sawables 3Q

Cape & Brown Sawables (CP&Bn Z)

Качество: 1-3Q;

Цвет: CP, 1-4BRN.

Качественные характеристики алмазов позиции Cape & Brown Sawables соответствует характеристикам групп дефектности алмазов 1-3Q позиций Sawables, Shapes и 1-2Q алмазов позиции Irregulars.

Shaped Crystals (Sh Cr)

Качество: 1-3Q;

Цвет: 1-3C.

Целые кристаллы октаэдрической формы, с небольшим искажением; плоскогранные, острореберные или с незначительным округлением ребер.

Примечание. Сортировка по качеству и цвету производится аналогично позиции SAWABLES CRYSTALS.

Shaped Crystals 1Q

**Кристаллы:**

октаэдрической формы, с небольшим искажением; плоскогранные, острореберные или с незначительным округлением ребер; без дефектов (Рис.3.76).



Рис. 3.76 Алмаз позиции Shaped Crystals 1Q

Shaped Crystals 2Q

**Кристаллы:**

октаэдрической формы, с небольшим искажением; плоскогранные, острореберные или с незначительным округлением ребер; с незначительными, едва видимыми единичными дефектами в периферийной зоне (Рис.3.77)

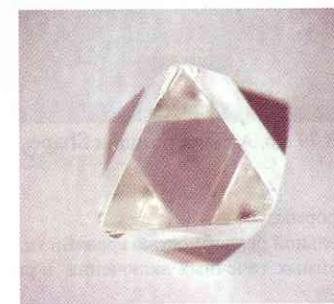


Рис.3.77. Алмаз позиции Shaped Crystals 2Q

Shaped Crystals 3Q

**Кристаллы:**

октаэдрической формы, с небольшим искажением; плоскогранные, острореберные или с незначительным округлением ребер;

с небольшими, единичными включениями в объеме периферийной и промежуточной зоны (Рис.3.78а) или поверхностными трещинами (Рис.3.78б).

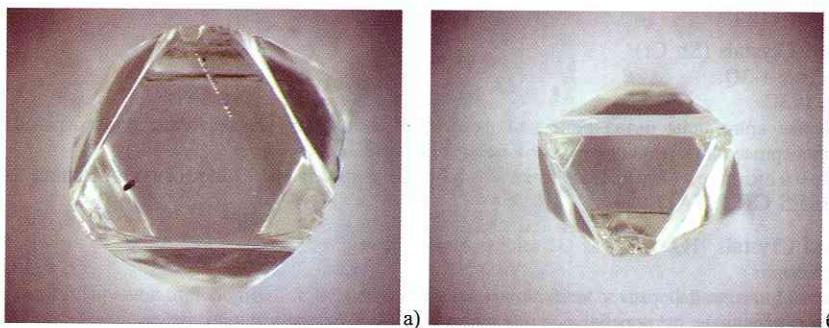


Рис.3.78а,б. Алмазы позиции Shapes Crystals 3Q

Shapes

**Качество: 1-3Q;**

**Цвет: 1-5C.**

Целые кристаллы, с небольшим искажением, гладкогранные, с незначительной или небольшой рельефностью граней.

Степень искажения формы в пределах: по L2 от 1,25 до 2,00; по L3 от 1,3 до 2,00.

По грушам качества сортируются аналогично классу кристаллов SAWABLES.

Shapes 1Q

**Кристаллы:** с небольшим искажением, гладкогранные, с незначительной рельефностью граней (Рис.3.79 а,б); без дефектов.

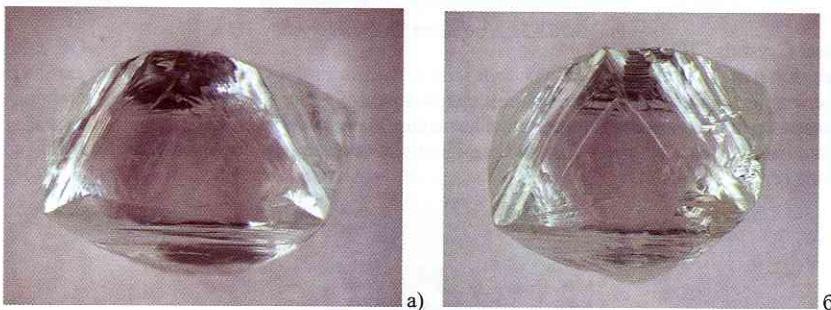


Рис.3.79 а,б. Алмазы позиции Shapes 1Q

Shapes 2Q

**Кристаллы:**

с небольшим искажением формы;

гладкогранные, с незначительной рельефностью граней.

Дефекты: 1-2 трудно находимых точечных включения в различных зонах; 1 небольшое включение на поверхности.

**Кристаллы:**

с небольшим искажением формы;

с небольшой рельефностью граней (Рис.3.80 а,б);

без дефектов.

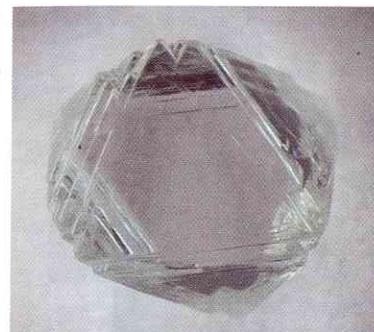


Рис.3.80 а,б. Алмазы позиции Shapes 2Q

Shapes 3Q

**Кристаллы:**

с небольшим искажением формы;

с небольшой ступенчатостью граней.

**Дефекты:**

несколько небольших включений в периферийной зоне (Рис.3.81а,б);

до 2-х больших на поверхности;

небольшое "облако" или 1 небольшое включение в центре кристалла;

подколы и каверны: небольшие;

трещины: до 3-х небольших, но разнонаправленные.



Рис.3.81 а,б. Алмазы позиции Shapes 3Q

Сортировка алмазов позиции Shapes по цвету производится аналогично позиции Sawables.

Cape & Brown Sawables

**Качество: 1,2,3**

**Цвет: cape, 1brn - 4brn**

Отсортировываются по цвету из позиций Z, Sh, Irr 1-2Q.

**Irregulars**

**Качество: 1-3/4Q;**

**Цвет: 1-5C.**

Кристаллы от правильной до искаженной формы, с единичными проявлениями резкой рельефности граней, допускаются вrostки, не выходящие за поверхность грани.

Irregulars 1Q

**Кристаллы:** правильной формы, с незначительным искажением, ступенчатые (Рис.3.82а), округлые, округло-ступенчатые; без дефектов (Рис.3.82б).

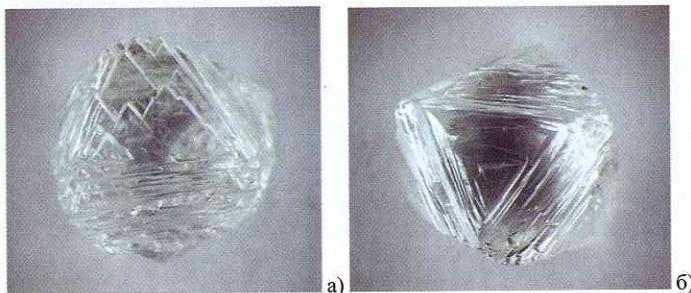


Рис.3.82 а,б. Алмазы позиции Irregulars 1Q  
Irregulars 2Q

**Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные; ступенчатые (Рис.3.83 а), округло-ступенчатые с единичными большими ступенями.

**Дефекты:** единичный незначительный дефект в центральной зоне или единичный небольшой в периферийной (Рис.3.83 б).

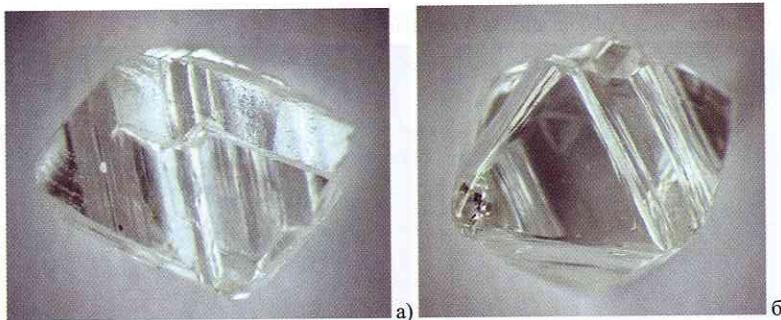


Рис. 3.83 а,б. Алмазы позиции Irregulars 2Q

**Irregulars 3/4Q**

**Кристаллы:**

с различным искажением формы; ступенчатые, округлые, округло-ступенчатые, с единичными большими ступенями, с природными сколами.

**Дефекты:**

вростки со следами прорастания (на 1/3 объема кристалла); включения либо небольшое в центральной зоне (иногда с микротрещинами) либо крупное на поверхности (Рис.3.84а); трещины на поверхности разного направления, допускается 1 трещина с углублением до 1/3 объема кристалла. грубые сколы граней (Рис.3.84б) с поверхностными трещинами (но потеря массы кристалла не должна превышать 1/3 объема).



Рис.3.84 а,б. Алмазы позиции Irregulars 3/4Q

**4Q Sawables**

**Качество: одно;**

**Цвет:** 1-5C, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

Целые кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса, правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней, с единичным большим дефектом (Рис.3.85а) или несколько небольших в различных зонах (Рис.3.85б).

Кристаллы отсортировываются по качеству из позиций SH и Z.

Допускаются:

сколы вершин, каверны, впадины в пределах периферийной зоны;  
трещины: несколько небольших у вершин или сколов, различного направления;  
или 1-2 на поверхности, 1 большая параллельная грани до ее середины.

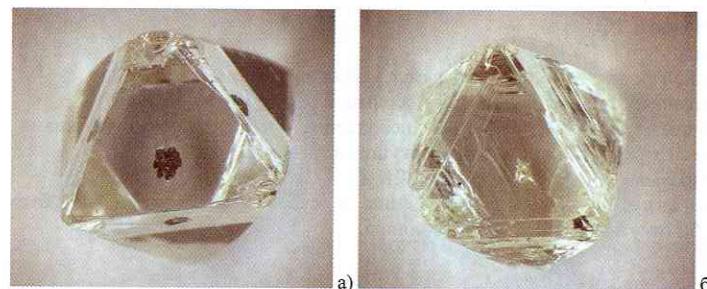


Рис. 3.85а,б. Алмазы позиции 4Q Sawables

**4 Black Sawables (4 BLK Z)**

**Качество: одно;**

**Цвет:** 1-3C, GRY, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

**Кристаллы:**

октаэдрического и додекаэдрического габитуса, правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением;

гладкогранные, с незначительной, с небольшой ступенчатостью, округло-ступенчатые; с различными большими включениями в различных зонах.

Отсортировываются по качеству из позиций 4QZ, IRR 3/4Q (изометричной или кристалльной формы).

Примечание. 2/3 часть объема кристалла - без дефектов.

Дефекты:

кристаллы с вростками (возможно с двойниковым), которые имеют прорастания, часто с трещинами до середины кристалла;  
включения: очень большое в центре (Рис.3.86 а) или 2 больших в периферийной зоне;  
рассеянные небольшие включения (Рис 3.86 б);  
серия небольших трещин разного направления, но компактно расположенных.

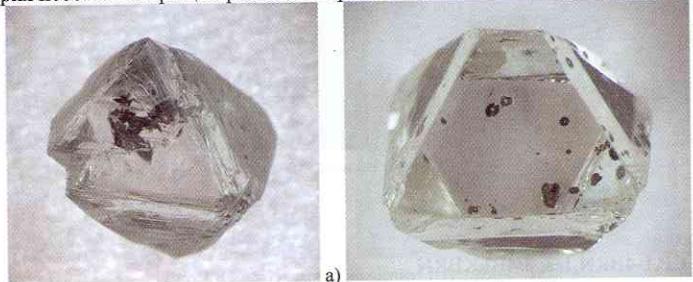


Рис.3.86 а,б. Алмазы позиции 4 Black Sawables

#### Rejection Stones (REJ ST)

Качество: 1-3Q;

Цвет: 1-3C, GRY, CLD, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы; от правильных до искаженных, с различной рельефностью граней; с очень большими включениями и глубокими, секущими трещинами.

Примечание. Наличие острых неповрежденных вершин.

#### Rejection Stones 1Q

Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней; с единичными очень большими, или небольшими, рассеянными включениями в различных зонах и с глубокими, единичными, секущими трещинами.

Отсортировывается по качеству из 4 BLK Z.

Примечание. Включения и трещины в сумме занимают 1/3-1/5 объема камня (Рис.3.87а, б); отсутствует не более 1 вершины.

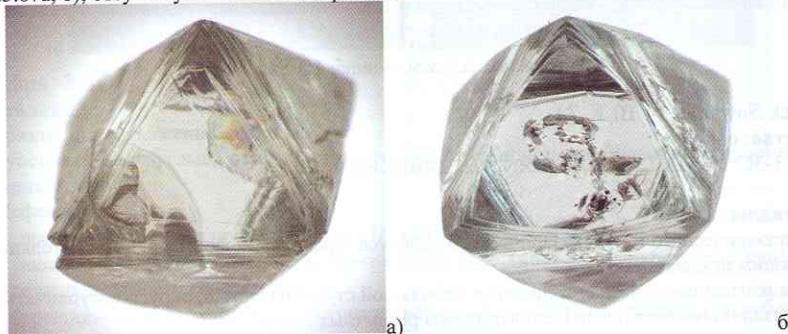


Рис.3.87 а,б. Алмазы позиции Rejection Stones 1Q

#### Rejection Stones 2Q

Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней; с большими и очень большими включениями в различных зонах и с секущими трещинами.

Примечание. Включения и трещины во всем объеме кристалла, со свободной зоной 1/3 кристалла (Рис.3.88 а, б); 4-5 целых вершин.



Рис.3.88 а,б. Алмазы позиции Rejection Stones 2Q.

#### Rejection Stones 3Q

Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней; с очень большими, многочисленными включениями в различных зонах (Рис.3.89а,б), в сочетании с глубокими, секущими трещинами.

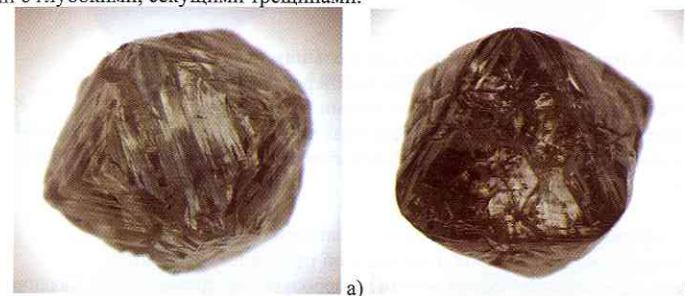


Рис.3.89а,б. Алмазы позиции Rejection Stones 3Q

#### Industrial Serie (Ind Serie)

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы; с различной рельефностью граней; густо окрашенные, отбираются для инструмента, но могут использоваться и для изготовления бриллиантов.

Dark Brown Stones (DkBrn St)

Качество: ½, 3,4

Цвет: Dark Brown

Yellow Stones (Yell St)

Качество: ½, 3,4

Цвет: Yellow 1/2Q

Алмазы группы дефектности 1/2Q отбирают по цвету из позиций Sawables 1-2Q

3Q

Алмазы группы дефектности 3Q отбирают по цвету из позиций Sawables 3Q.

4Q

В это качество отсортировываются по цвету алмазы из позиции 4QSawables.

Dark Brown Shapes (Dk Brn Sh)

Качество: 1, 2

Цвет: Dark Brown

Yellow Shapes (Yell)Sh

Качество: 1, 2

Цвет: Yellow

1Q

В это качество отбирают алмазы по цвету из позиций Shapes 1-2Q

2Q

В это качество отбирают алмазы по цвету из позиции Shapes 3Q.

Dressers (Dress)

Качество: 1-5Q;

Цвет: не выделяется

Кристаллы:

октаэдрической и додекаэдрической формы;  
с различным искажением и рельефностью граней;  
с острыми, бездефектными, рабочими вершинами;  
используются для изготовления правящего инструмента.

Выделяются по цвету из позиций BlkZ и RejSt.

Dressers 1Q

Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением;  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней;  
с незначительными, единичными включениями в различных зонах.

Примечание. Обязательна сохранность всех вершин, в кристалле не менее 5-6 целых вершин, свободных от дефектов. Отсортировываются из позиций 4ZQ, по цвету.

Dressers 2Q

Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением;  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней;  
с большими, единичными включениями и небольшими трещинами в различных зонах (Рис.3.90).

Примечание. 1. Сохранность 4 вершин, свободных от дефектов.

2. Выделяются по цвету из позиции 4 BLK Z.



Рис. 3.90. Алмазы позиции Dressers 2Q

Dressers 3Q

Кристаллы не менее чем с 3-мя бездефектными, рабочими вершинами, по дефектности соответствуют позиции Rejection Stones 1Q (Рис.3.91 а,б)



а)

б)

Рис. 3.91 а,б. Алмазы позиции Dressers 3Q

Dressers 4Q

Кристаллы не менее чем с 2-мя бездефектными, рабочими вершинами, по дефектности соответствуют позиции Rejection Stones 2Q (Рис.3.92 а,б).



а)

б)

Рис. 3.92 а,б. Алмазы позиции Dressers 4Q

Dressers 5Q

Кристаллы с единичной бездефектной, рабочей вершиной, по дефектности соответствуют позиции Rejection Stones 3Q (Рис.3.93 а,б).



а)

б)

Рис.3.93 а,б. Алмазы позиции Dressers 5Q

Coated Stones (Ctd St)

Качество: 1,2,3

Цвет: не выделяется

Coated Stones 1Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций Z 1Q и Sh 1Q.

Coated Stones 2Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций Z 2Q и Sh 2Q.

### Coated Stones 3Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций Z 3Q и Sh3Q.

#### Coated Sawables (Ctd Z)

**Качество 1,2,3,**

Цвет не выделяется

#### Coated Sawables 1 Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций 4Z и верх качества образца позиции 4Blk Z.

#### Coated Sawables 2 Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций низ качества образца позиции 4Blk Z, Rej St 1Q, RejSt 2Q.

#### Coated Sawables 3 Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиции RejSt 3Q.

#### Группа обломков

#### Chips (CH)

**Качество:1-3Q;**

Цвет:1-3C

Обломки кристаллов правильной и искаженных форм, с различной рельефностью граней; кристаллы со сколами, с большой рельефностью.

#### Chips 1Q

#### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные (Рис.3.94 а);

с рельефностью граней (Рис.3.94 б), округло-ступенчатые, с резкой ступенчатостью, с протомагматическими сколами;

без дефектов.

#### Обломки кристаллов:

правильной формы, с незначительным искажением;

гладкогранные, с незначительной рельефностью, с протомагматическими сколами; без дефектов.

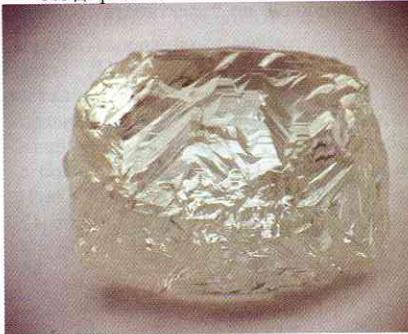


Рис. 3.94 а,б. Алмазы позиции Chips 1Q

#### Chips 2Q

#### Кристаллы и их обломки:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные; с большой ступенчатостью граней, с протомагматическими и механическими сколами (Рис.3.95 а,б).

#### Дефекты:

незначительные единичные включения в периферийной зоне (Рис.3.95а);

до 2-3 незначительных точечных включений в центральной зоне;

до 2-х незначительных поверхностных трещин.



а) б)

Рис.3.95 а,б. Алмазы позиции Chips 2Q

#### Chips 3Q

#### Кристаллы и их обломки:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные; с большой ступенчатостью граней, с различными сколами; с единичными большими дефектами или несколькими небольшими в различных зонах кристалла.

#### Допускается:

обломки с вростками без глубоких прорастаний;

кубы хорошего качества;

незакономерные сростки из 2-х равномерных зерен, хорошего качества;

включения: до нескольких крупных на поверхности или одно крупное в центре. Все дефекты расположены достаточно компактно;

до 2-3 небольших трещин, разного направления, но не глубже промежуточной зоны (Рис.3.96).



Рис. 3.96. Алмаз позиции Chips 3Q

#### Macles (Mac)

**Качество:1-3Q;**

Цвет:1-3C

Шпинелевые двойники, их обломки, кристаллы с двойниковым прорастанием, с различной рельефностью граней.

#### Macles 1Q

Шпинелевые двойники, кристаллы с двойниковым прорастанием;

плоскогранные, с незначительной рельефностью;

без дефектов, двойниковый шов «ровный» (Рис.3.97).



Рис.3.97 Алмазы позиции Maccles 1Q

#### Macclles 2Q

**Шпинелевые двойники, кристаллы с двойниковым прорастанием и их обломки:**  
правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, искаженные;  
гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью.

##### Дефекты:

несколько, плохо видимых (Рис.3.98а) нитевидных включений по шву  
двойникования до промежуточной зоны;  
незначительная поверхностная трещина по сколу;  
обратнопараллельные двойники, без дефектов (Рис.3.98б).

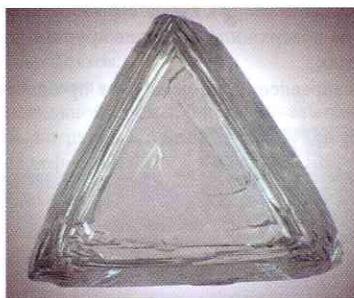


Рис.3.98 а,б. Алмазы позиции Maccles 2Q



б)

#### Macclles 3Q

##### Шпинелевые двойники и их обломки:

правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, искаженные;  
гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью, или ступенчатые;  
с единичными большими дефектами или несколькими небольшими в различных зонах.

##### Дефекты:

двойники с небольшим вростком на поверхности;  
сросток 2-3 двойников, но с доминированием 1-го по объему;  
впадина травления до центральной зоны;  
включения: 1 большое или несколько небольших на поверхности; нитевидные  
включения с разных сторон до центра (Рис.3.99а) или 1 небольшое включение - в  
центре;  
несколько небольших (но не секущих) трещин, разного направления, в  
сочетании с включениями (Рис.3.99б).

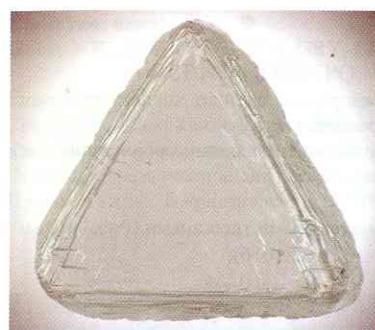


Рис.3.99 а,б. Алмазы позиции Maccles 3Q

б)

#### Colored & Brown Makeables

**Качество: 1 –3Q;**  
**Цвет: 4C, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN**

По уровню дефектности соответствуют 1,2,3,Q позиций Ch и Mac и кристаллы с искажением 1-3/4Q позиции Иг.

#### Brown Makeables (Brn Mb)

**Качество: 1, 2Q;**  
**Цвет: 5,6 BRN.**

##### Кристаллы и шпинелевые двойники и их обломки:

с различным искажением и рельефностью граней;  
коричневые и темно-коричневые.

Примечание. 1. Brown Makeables 1Q- по уровню дефектности соответствуют 1,2Q позиций Ch и Mac.

2.Brown Makeables 2Q - соответствует характеристикам 3-го качества алмазов позиций Chips и Maccles.

#### Makeable Flats (Mb Fl)

**Качество: 1, 2Q;**  
**Цвет: 1 – 3C**

Кристаллы и шпинелевые двойники пластинчатой формы.

#### Makeable Flats 1Q

##### Кристаллы и шпинелевые двойники:

с большим искажением или пластинчатой формы (Рис.3.100);  
с плоскими гранями или с незначительной ступенчатостью граней;  
без дефектов.

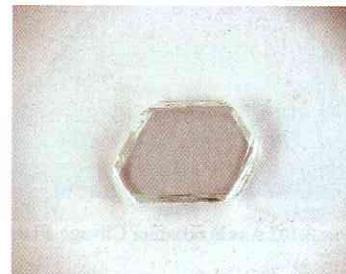


Рис.3.100. Алмаз позиции Makeable Flats 1Q

## Makeable Flats 2Q

### Кристаллы и шпинелевые двойники:

большим искажением или пластинчатой формой;  
гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью;  
с незначительными включениями в периферийной зоне и следами прорастания в объеме периферийной зоны.

Примечание. Допускаются:

механические сколы с единичными, незначительными трещинами (Рис.3.101а);  
небольшое включение в периферийной зоне (Рис.3.101б);  
трещина по спайности.



Рис.3.101а,б. Алмазы позиции Makeable Flats 2Q

## Clivage Flats (Cl FL)

Качество: одно;

Цвет: 1-3С

Обломки кристаллов (Рис.3.102) и шпинелевых двойников, с большим искажением; с раковистыми сколами, рельефной поверхностью и неравномерной толщиной.

Дефекты:

несколько мелких трещин различного направления.

2-3 больших включения в центральной или периферийной зонах, компактно расположенные.



Рис.3.102. Алмаз позиции Clivage Flats

## Clivage Makeable (Cliv Mb)

Качество: одно;

Цвет: 1-3С, 1LTPQ, 2/3LTPQ, GRY, CLD, CP, CLDLTPQ,

1-4BRN, LTBRNPQ, DKBRNPQ, 1/2, 3/4BLKBRN)

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и их обломки, параллельные сростки; с различным искажением и рельефностью граней;  
с включениями и единичными трещинами в различных зонах, с вростками.

Сыре предназначенные для раскалывания.

Примечание. В кристалле около 50% чистого объема без дефектов (Рис 3.103).



Рис.3.103 Алмаз позиции Clivage Makeable

## Brown Clivage (Brn Cliv)

Качество: одно;

Цвет: 5/ 6 BRN

Примечание. Выделяются по цвету из позиции Clivage Makeable насыщенного темно-коричневого цвета.

## Rejections (REJ)

Качество: 1-3Q;

Цвет: 1-3С, 1CLTPQ, 2/3CLTPQ, GRY, BLK, CLD, CP, CLDLTPQ,

1-4BRN, LTBRNPQ, DKBRNPQ, 1/2, 3/4BLKBRN

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и незакономерные сростки, и их обломки с различным искажением и рельефностью граней и многочисленными, большими дефектами.

## Rejections 1Q (REJ1Q)

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и незакономерные сростки, и их обломки с различным искажением и рельефностью граней и многочисленными, большими дефектами. В кристалле должно быть 30% сконцентрированного чистого объема (Рис.3.104).



Рис. 3.104 Алмазы позиции Rejections 1Q

#### Rejections 2Q (REJ 2Q)

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и незакономерные сростки, и их обломки с различным искажением до пластинчатого и с различной рельефностью граней с многочисленными большими дефектами.

Примечание. Свободные от дефектов зоны в сумме составляют не более 30% (Рис.3.105 а, б).

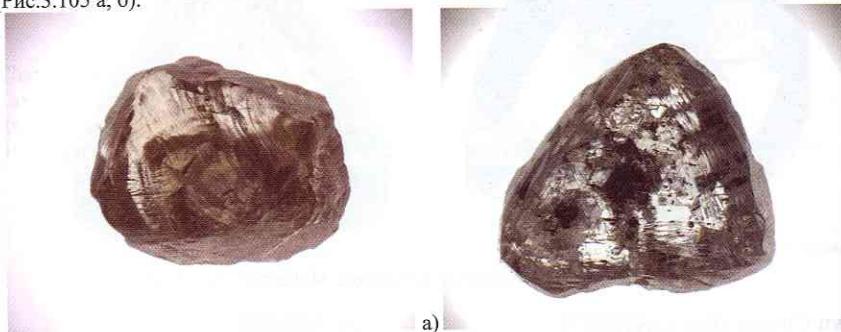


Рис.3.105 а, б. Алмазы позиции Rejections 2Q

#### Rejections 3Q (REJ 3Q)

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и незакономерные сростки, и их обломки с различным искажением и рельефностью граней и многочисленными, большими дефектами.

Примечание. Свободные от дефектов участки очень незначительные, дефекты большие во всех зонах (Рис.3.106 а,б).

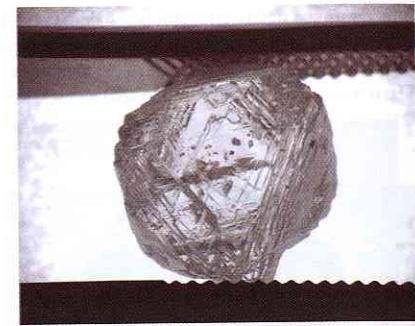


Рис.3.106 а,б. Алмазы позиции Rejections 3Q

б)

#### Brown Rejections (Brn Rej)

Качество: одно;

Цвет: 5/ 6BRN

Примечание. Характеристики качества алмазов позиции Brown Rejections соответствуют характеристикам 1, 2-го качества алмазов позиции Rejections.

#### Coated Clivage (Ctd Clv)

Качество: 1-3

Цвет: Не выделяется

#### Coated Clivage 1Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций Ch 1-2Q, Mac 1-2Q, Irr 1-2Q (не кристальная форма).

#### Coated Clivage 2Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций Ch 3Q и Mac 3Q, Irr3/4Q и верх образца Cl Mb.

#### Coated Clivage 3Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиции низ образца Cl Mb, верх Rej 1Q.

#### Coated Rejections (Ctd Rej)

Качество: одно

Цвет: не выделяется.

Выделяются алмазы в оболочке из позиций Rej 1-2Q.

#### Boart (Boart)

Качество: 1-3Q;

Цвет: не выделяется.

Обломки кристаллов, сростки и их обломки, с очень большим количеством дефектов.

#### Boart 1Q

Обломки кристаллов, двойники и их обломки, сростки и их обломки:

с различным искажением;

с различной рельефностью граней, с большими включениями и трещинами.

Примечание. Свободные от дефектов участки составляют не более 1%, слабо просвечивающие непрозрачные (Рис.3.107 а,б).



Рис.3.107 а,б. Алмазы позиции Boart 1Q

Boart 2Q

Сростки и обломки сростков, мелко-крупнозернистые массы, непрозрачные зерна, также крупнозернистые агрегаты;

с большими включениями и трещинами.

Примечание. Черные, не просвечивающие (Рис.3.108 а,б).



Рис.3.108 а,б. Алмазы позиции Boart 2Q

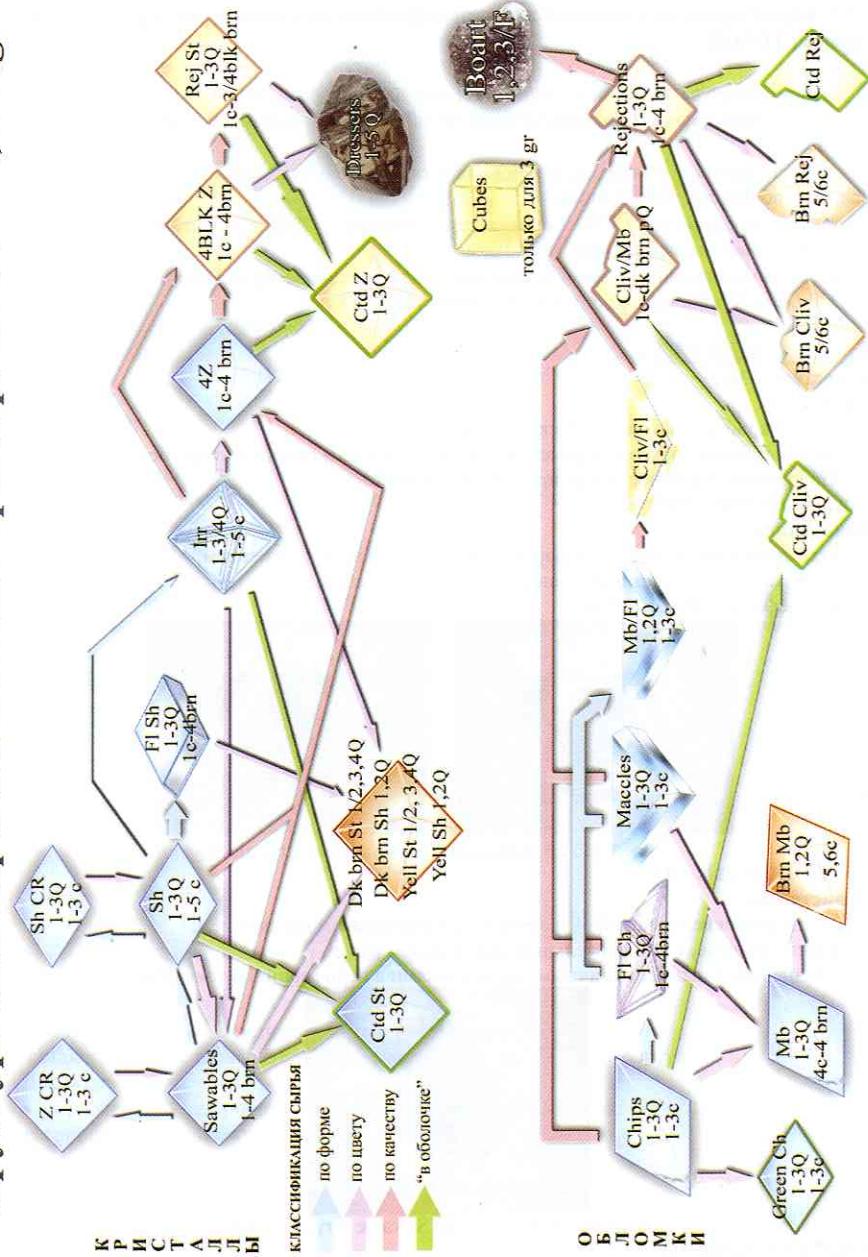
Boart 3/FQ

Мелкозернистые массы, коксовидные, без алмазного блеска (Рис.3.109а,б).



Рис. 3.109а, б. Алмазы позиции Вояж 3Ω

Структура классификации алмазов размерностей: +11; 2-3 gr



### 3.12. Характеристика позиций и групп дефектности алмазов размерно-весовой группы 11-3GR

В номенклатуре позиций и групп качества алмазов размерности 11-3GR в отличие от классификации алмазов размерно-весовой группы -11+9 вводятся следующие дополнения и изменения:

- уплощенные алмазы отсортировываются в отдельные позиции, в кристаллах - Flat Shapes, в обломках - Flats Chipes;
- в размерности 3GR появляется позиция CUBES, которая представлена непрозрачными, эмалевидными кристаллами;
- помимо основных позиций вводятся также специальные позиции по цвету-Brn Rej, Brn Clvv, Brn Mb, Industrial Seria, Green, - качеству-CTD.

#### Sawable Crystals (ZCr)

**Качество: 1-3Q;**

**Цвет: 1-3C.**

Целые кристаллы октаэдрического габитуса;  
плоскограные, острореберные или с незначительным округлением ребер.

По уровню дефектности сортируются, как Sawables.

#### Sawable Crystals 1Q

**Кристаллы:**

октаэдрические правильной формы, с незначительным искажением;  
плоскограные, с незначительным округлением ребер;  
без дефектов (Рис.3.110 а,б).

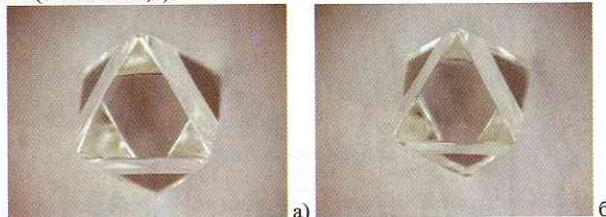


Рис.3.110 а,б. Алмазы позиции Sawable Crystals 1Q

#### Sawables Crystals 2Q

**Кристаллы:**

октаэдрические, правильной формы, с незначительным искажением;  
плоскограные, с незначительным округлением ребер;  
с незначительными, единичными включениями в периферийной зоне (Рис.3.111).



Рис.3.111 Алмаз позиции Sawable Crystals 2Q

#### Sawables Crystals 3Q

**Кристаллы:**

октаэдрические, правильной формы, с незначительным искажением;

плоскограные, с незначительным округлением ребер;  
с незначительными, единичными включениями в различных зонах или небольшие включения в периферийной и промежуточной зонах.

Примечание. Допускается скол по граням в приповерхностной зоне (Рис.3.112 а,б).

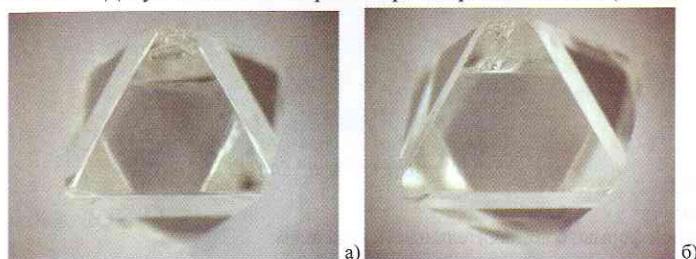


Рис.3.112 а,б. Алмазы позиции Sawable Crystals 3Q

#### Sawables (Z)

**Качество:1-3Q;**

**Цвет:1-5C.**

Целые кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса, правильной формы и с незначительным искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней.

#### Sawables 1Q (Z1Q)

**Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным искажением;  
гладкогранные (Рис.3.113), с незначительной рельефностью, с округлыми гранями;  
без дефектов.

Примечание. Допускаются 1-2 коротких дополнительных ребра.

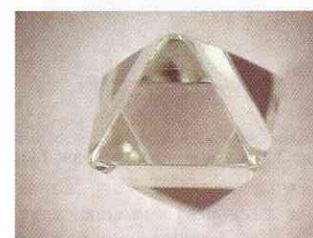


Рис.3.113. Алмаз позиции Sawables 1Q

#### Sawables 2Q

**Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным искажением;  
гладкогранные, с незначительной рельефностью (Рис.3.114 б), округлые.

**Дефекты:**

- включения - единичное точечное в центральной зоне или 1 небольшое - в периферийной или промежуточной зонах (Рис.3.48);
- фигуры травления, но не глубокие;
- 1-2 незначительно поврежденных вершины, но без трещин;
- линии скольжения.



Рис. 3.114. Алмаз позиции Sawables 2Q

#### Sawables 3Q

##### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным искажением;

гладкогранные, с незначительной рельефностью, с округлыми гранями.

Дефектами в виде:

- незначительного включения в центральной зоне;
- небольшого включения, явно видимого (Рис.3.115), или группа локализованных точечных включений в промежуточной или периферийной зонах;
- наличие индукционной грани;
- небольшого протомагматического скола, в виде выемки на грани;
- 1-2 незначительных поверхностных трещины.



Рис.3.115. Алмаз позиции Sawables 3Q

#### Shaped Crystals

##### Качество: 1-3Q;

##### Цвет: 1- 3С.

Целые кристаллы октаэдрической формы, с небольшим удлинением,

плоскогранные, острореберные, с незначительным округлением ребер.

Сортировка по качеству происходит аналогично, как в позиции SAWABLES CRYSTALS

#### Shaped Crystals 1Q

##### Кристаллы:

Октаэдрического габитуса с небольшим искажением формы;

плоскогранные, острореберные, с незначительным округлением ребер;

без дефектов (Рис.3.116).



Рис.3.116. Алмаз позиции Shaped Crystals 1Q

#### Shaped Crystals 2Q

##### Кристаллы:

октаэдрического габитуса, с небольшим искажением формы;

плоскогранные, острореберные, с незначительным округлением ребер (Рис.3.117 а), с незначительными, единичными включениями в периферийной зоне (Рис.3.117 б).

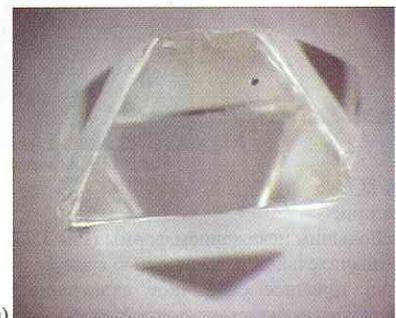


Рис.3.117 а,б. Алмазы позиции Shaped Crystals 2Q

#### Shaped Crystals 3Q

##### Кристаллы:

октаэдрического габитуса, с небольшим искажением формы;

плоскогранные, острореберные, с незначительным округлением ребер, с незначительными, единичными включениями в различных зонах или сочетание небольших включений в периферийной и промежуточной зонах.

##### Примечание.

• Допускается скол по грани в приповерхностной зоне (Рис.3.118а);

• 1-2 незначительные трещины (Рис.3.118б).

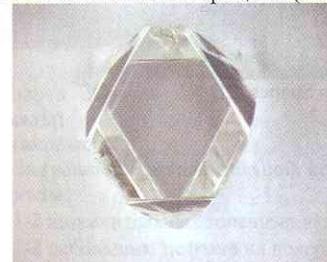


Рис.3.118 а,б. Алмазы позиции Shaped Crystals 3Q

### Shapes (Sh)

**Качество: 1-3Q;**

**Цвет: 1- 5C.**

Коричневые и цветные кристаллы сортируются в позицию Cape & Brown Sawables.  
(CP & Brn Z)

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы, с небольшим искажением, гладкогранные, с незначительной или небольшой рельефностью граней.

### Shapes 1Q

#### Кристаллы:

- с небольшим искажением формы;
- с незначительной рельефностью граней;
- без дефектов (Рис.3.79 а,б и Рис.3.119).



Рис.3.119. Алмазы позиции Shapes 1Q

### Shapes 2Q

#### Кристаллы:

- с небольшим искажением формы (Рис.3.77);
- с незначительной рельефностью граней.

Дефекты: точечное единичное включение в центральной зоне или 1 небольшое - в периферийной или промежуточной зонах, фигуры травления, но не глубокие (Рис.3.120);  
1-2 незначительно поврежденных вершин, но без трещин;  
линии скольжения.



Рис.3.120. Алмазы позиции Shapes 2Q

### Shapes 3Q

#### Кристаллы:

- с небольшим искажением формы;
- с незначительной рельефностью граней;
- с незначительной и небольшой ступенчатостью.

Дефекты в виде:

- незначительного включения в центральной зоне (Рис.3.121);

- небольшого включения, явно видимого, или группы локализованных точечных включений в промежуточной или периферийной зонах (Рис.3.81 а,б);
- наличие индукционной грани;
- сколы - от 1 вершины по 2 граням (притупление 2 вершин), с образованием небольшой ступеньки на грани;
- 1-2 незначительных поверхностных трещин.

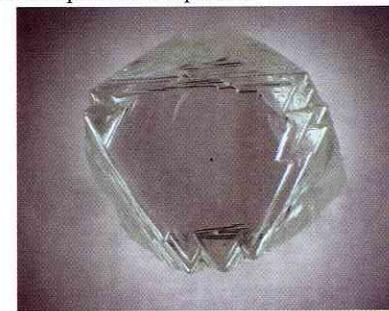


Рис.3.121. Алмазы позиции Shapes 3Q

### Flat Shapes (FlSh)

**Качество: 1-3Q;**

**Цвет: 1- 4C, CP, 1-4BRN.**

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы, сильно искаженные (уплощенные Sh) и с незначительной рельефностью граней.

### Flat Shapes 1Q

#### Кристаллы:

- искаженные;
- плоскограные или с незначительной рельефностью граней;
- без дефектов (Рис.3.122 а,б).

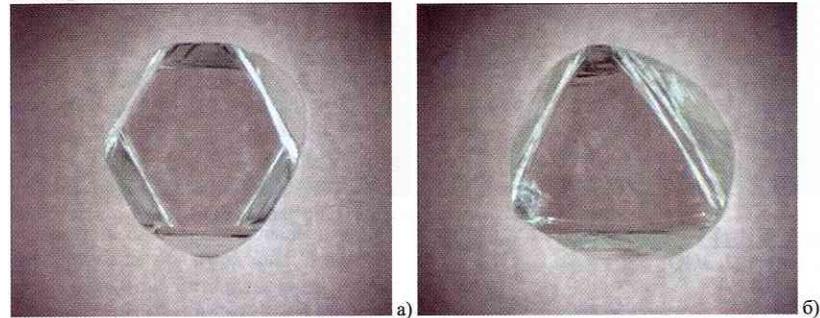


Рис.3.122 а,б. Алмазы позиции Flat Shapes 1Q

### Flat Shapes 2Q

#### Кристаллы:

- искаженные;
- плоскограные, с незначительной, небольшой рельефностью граней (Рис.3.123 б);

Дефекты:

- 1-2 незначительных точечных включения в периферийной зоне;
- 1-2 небольших дефекта на поверхности (Рис.3.123 а);

- сглаженные ребра, полицентрические вершины, ступенчатость небольшая (до 1-й резкой ступеньки).



Рис.3.123 а,б. Алмазы позиции Flat Shapes 2Q

### Flat Shapes 3Q

#### Кристаллы:

с большим искажением, искаженные;  
гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью.

#### Дефекты:

- незначительное включение в центральной зоне (Рис.3.124а);
- 2-3 небольшие включения в периферийной зоне или 1 большое на поверхности;
- несколько незначительных рассеянных включений (Рис.3.124 б);
- 1-2 незначительные трещины.

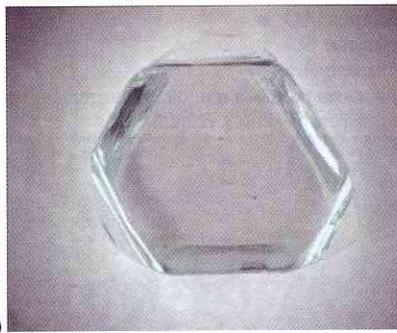
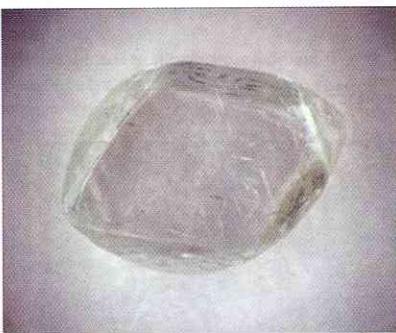


Рис.3.124 а,б. Алмазы позиции Flat Shapes 3Q

### Irregulars (Irr)

#### Качество: 1, 2, 3/4Q;

#### Цвет: 1-5C.

Кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса, с единичными проявлениями резкой рельефности граней, допускаются вrostки, не выходящие за поверхность грани.

### Irregulars 1Q

#### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;  
ступенчатые, округлые, округло-ступенчатые, с единичными большими ступенями;  
без дефектов (Рис.3.125).

Допускаются: кристаллы с протомагматическими сколами.

### Irregulars 2Q Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;  
ступенчатые, округло-ступенчатые с единичными большими ступенями.

Дефекты: Единичное незначительное включение в центральной зоне (Рис.3.126 б) или единичное небольшое в периферийной (Рис.3.126 а).

Примечание. Допускаются:

- микровростки, с прорастанием не глубже периферийной зоны;
- несколько незначительных включений в периферийной и промежуточной зонах, 1 небольшое - в периферийной;
- "свежий" скол с незначительной трещиной.



Рис.3.126 а,б. Алмазы позиции Irregulars 2Q

### Irregulars 3/4Q

#### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, искаженные;  
ступенчатые, округло-ступенчатые с единичными большими ступенями, с различными сколами.

#### Дефекты:

- большие единичные включения в периферийной зоне, в сочетании с незначительными включениями в центральной зоне;
- вростки с прорастанием на 1/3 объема кристалла;
- сколы граней (Рис.3.127) с множеством сколовых трещин на поверхности (но потеря массы кристалла не должна превышать 1/3 объема);
- включения либо небольшое в центральной зоне (иногда с микротрещинами) либо крупное в периферийной зоне (Рис.3.84а);
- возможны незначительные единичные трещины в объеме периферийной зоны.



Рис.3.125. Алмаз позиции Irregulars 1Q



Рис.3.127. Алмаз позиции Irregulars 3/4Q

#### Cape & Brown Sawables (CP & Brn Z)

**Качество: 1-3Q;**

**Цвет: CP, 1-4BRN.**

Целые кристаллы октаэдрической и октаэдроидной, додекаэдрической и додекаэдроидной формы; с различной рельефностью граней,

Примечание. Качество алмазов позиции Cape & Brown Sawables соответствует качеству алмазов групп дефектности 1-3Q позиций Sawables, Shapes.

Коричневые и цветные кристаллы и 1—3/4Q распределяются на одно качество ниже, т.е. Irregulars 1Q в CP & Brn Z 2Q и т.д.

#### 4Q Sawables (4Z)

**Качество: одно;**

**Цвет: 1-5C, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN**

Целые кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса, правильной формы, с незначительным небольшим искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней, с единичным большим дефектом (Рис.3.128) или несколько небольших в различных зонах.

Кристаллы отсортировываются по качеству из позиций SH и Z.

Допускаются:

- единичный большой дефект в любой зоне;
- несколько небольших дефектов во всех зонах;
- сколы вершин, каверны, впадины в пределах периферийной зоны (Рис.3.85а);
- трещины: несколько небольших различного направления у вершин, или 1-2 на поверхности, 1 большая по спайности до середины грани;
- большие сколы грани (до 1/3-1/2), реже - неглубокий скол по всей грани;
- включения: 1 большое в центре с многочисленными незначительными; несколько небольших или единичное большое в периферийной зоне;
- вrostок, занимающий не более 1/4 поверхности грани в пределах периферийной зоны.

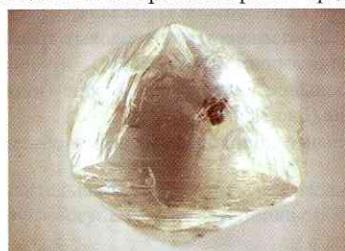


Рис. 3.128. Алмаз позиции 4Q Sawables

#### 4 Black Sawables (4 BLK Z)

**Качество: одно;**

**Цвет: 1-3C, GRY, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN**

**Кристаллы:**

октаэдрического и додекаэдрического габитуса, правильной формы, с незначительным с небольшим искажением, искаженные; гладкогранные и с различной рельефностью граней, с большими и очень большими дефектами.

**Дефекты:**

- кристаллы с вростками, с прорастанием до промежуточной зоны;
- включения: в центральной зоне 1 очень большое или 2 больших; в периферийной зоне различного размера - до 1/4 объема камня;
- серия небольших трещин разного направления, но компактно расположенных в объеме (до 1/4 объема).

Примечание. Дефекты в совокупности занимают 1/2 часть кристалла, половина камня – свободна от дефектов (Рис.3.129 а, б).

Отсортировывается в это качество из 4QZ, IRR 3/4Q.



а) б)

Рис. 3.129 а,б. Алмазы позиции 4 Black Sawables

#### Rejection Stones (Rej St)

**Качество: 1-3Q;**

**Цвет: 1-3C, GRY, CLD, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN**

Целые кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса; от правильной формы до искаженной, гладкогранные или с незначительной, небольшой рельефностью граней; с очень большими включениями и глубокими, секущими трещинами.

Примечание. Наличие острых неповрежденных вершин.

#### Rejection Stones 1Q

**Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным искажением, гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью граней (Рис.3.130 а). Отсортировывается по качеству из 4 BLK Z.

**Дефекты:**

- трещина, секущая через центр весь кристалл;
- включения по всему объему (Рис.3.130 б);
- не заняты дефектами 4-5 вершин.



Рис.3.130 а,б. Алмазы позиции Rejection Stones 1Q

#### Rejection Stones 2Q

##### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, небольшим искажением;  
гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью граней.

##### Дефекты:

- включения и трещины различного размера во всем массиве кристалла (Рис.3.131 а,б);
- не заняты дефектами 3-4 вершины;
- сколы по спайности, не нарушающие геометрию кристалла.



Рис.3.131 а,б. Алмазы позиции Rejection Stones 2Q

#### Rejection Stones 3Q

##### Кристаллы:

правильной формы, незначительным, небольшим искажением,  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней,  
с очень большими, многочисленными включениями в различных зонах, в сочетании с  
глубокими, секущими трещинами.

##### Примечание.

- абсолютно дефектные кристаллы, со свободными зонами у вершин (Рис.3.132),
- не заняты дефектами 1-2 вершины.



Рис. 3.132. Алмаз позиции Rejection Stones 3Q

#### Industrial Serie (Ind Serie)

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы;  
с различной рельефностью граней;  
густо окрашенные, отбираются для инструмента, но могут использоваться и для  
изготовления бриллиантов.

#### Dark Brown Stones (DkBrn St)

Качество: ½, 3,4

Цвет: Dark Brown

#### Yellow Stones (Yell St)

Качество: ½, 3,4

Цвет: Yellow

#### 1/2Q

Алмазы группы дефектности 1/2Q отбирают по цвету из позиций Sawables 1-2Q  
3Q

Алмазы группы дефектности 3Q отбирают по цвету из позиций Sawables 3Q.  
4Q

В это качество отсортировываются по цвету алмазы из позиции 4 Z.

#### Dark Brown Shapes (Dk Brn Sh)

Качество: 1, 2

Цвет: Dark Brown

#### Yellow Shapes (Yell) Sh

Качество: 1,2

Цвет: Yellow

#### 1Q

В это качество отбирают алмазы по цвету из позиций Shapes 1-2Q  
2Q

В это качество отбирают алмазы по цвету из позиции Shapes 3Q

#### Dressers (Dr)

Качество: 1-5Q;

Цвет: не выделяется

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы;  
с различной рельефностью граней;  
с различными дефектами, имеющие бездефектные вершины, отбираются для  
изготовления правящего инструмента.

## Dressers 1Q

### Кристаллы:

правильной формы, или с незначительным, или с небольшим искажением; с плоскими гранями, с незначительной, с небольшой рельефностью граней; с небольшими, единичными включениями в различных зонах.

## Dressers 2Q

### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; с плоскими гранями, или с незначительной, или с небольшой рельефностью граней; с большими, единичными включениями и небольшими трещинами в различных зонах,

### Отбираются по цвету из позиции 4 BLK Z (Рис.82).

Характерна хорошая форма кристалла, сохранность всех вершин,

## Dressers 3Q

Отбираются по цвету из позиции Rejection Stones 1Q (Рис.3.133).



Рис. 3.133. Алмаз позиции Dressers 3Q

## Dressers 4Q

Отбираются по цвету из позиции Rejection Stones 2Q (Рис.3.92 а,б).

## Dressers 5Q

Отбираются по цвету из позиции Rejection Stones 3Q (Рис.3.93 а,б).

### Coated Stones

#### Coated Stones 1Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций Z 1Q и Sh 1Q (Рис.3.134).



Рис. 3.134 Алмаз позиции Coated Stones 1Q

#### Coated Stones 2Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций Z 2Q и Sh 2Q (Рис.3.135).



Рис. 3.135. Алмаз позиции Coated Stones 2Q

### Coated Stones 3Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций Z 3Q и Sh 3Q, верхняя граница образца качества позиции 4ZQ (Рис.3.136).



Рис. 3.136 Алмаз позиции Coated Stones 3Q

### Coated Sawables

#### Coated Sawables 1Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций: низ качества Z4Q, 4 BLK Z (верх качества). (Рис.3.137)



Рис. 3.137. Алмаз позиции Coated Sawables 1Q

### Coated Sawables 2Q

Выделяются алмазы в оболочке из позиций 4 BLK Z, REJ ST 1Q (Рис.3.138).



Рис. 3.138. Алмаз позиции Coated Sawables 2Q  
Coated Sawables 3Q  
Выделяются алмазы в оболочке из позиций REJ ST 2-3Q (Рис.3.139).



Группа обломков  
Chips (Ch)  
Качество: 1-3Q;  
Цвет: 1-3C

Обломки кристаллов правильной формы с различной рельефностью граней.  
Chips 1Q (CH)

**Кристаллы:**

искаженные; с рельефностью граней, округло-ступенчатые и с большой ступенчатостью, с протомагматическими и механическими сколами;  
без дефектов (Рис. 3.94, Рис.3.140).

**Обломки кристаллов:**

правильной формы, с незначительным искажением;  
с плоскими гранями или с незначительной ступенчатостью.  
Сколы только природные.

Без дефектов.



Рис.3.140. Алмаз позиции Chips 1Q

Chips 2Q  
**Кристаллы:**  
искаженные;

с рельефностью граней, округло-ступенчатые и с большой ступенчатостью (Рис.3.141a).

**Обломки кристаллов:**

правильной формы, с незначительным искажением;  
с различной рельефностью, с различными типами сколов (Рис.3.141б).

**Дефекты:**

- 1небольшое включение в периферийной зоне;
- 2 незначительные поверхностные трещины, сколового характера.



Рис.3.141 а,б. Алмазы позиции Chips 2Q

а)

б)

Chips 3Q (CH)

**Кристаллы:**

искаженные;

с рельефностью граней, округло-ступенчатые и с большой ступенчатостью.

**Обломки кристаллов:**

правильной формы, с незначительным, небольшим искажением;  
с различной рельефностью граней, с различными типами сколов.

**Дефекты:**

- включения: несколько небольших на поверхности или одно крупное в центральной зоне. Все дефекты расположены достаточно компактно (Рис.3.142а);
- 2-3 небольших трещины, разного направления, но не глубже промежуточной зоны (Рис.3.142б);

• каналы травления.

**Примечание.** Допускаются:

- обломки с вростками без глубоких прорастаний;
- прозрачные кубы без дефектов;
- незакономерные сростки из 2-х равновеликих зерен.



Рис.3.142 а, б. Алмазы позиции Chips 3Q

а)

б)

Flat Chips (FlCh)  
Качество: 1-3Q;

Цвет: 1-4С, СР, 1-4BRN.

Кристаллы со сколами и их обломки;  
сильно искаженные, уплощенные, с различной рельефностью граней.

Flat Chips 1Q

**Кристаллы и их обломки:**

с большим искажением, искаженные;  
с единичными ступенями на гранях и протомагматическими сколами;  
без дефектов (Рис.3.143).



Рис. 3.143 Алмаз позиции Flat Chips 1Q

Flat Chips 2Q

**Кристаллы и их обломки:**

с большим искажением, искаженные;  
ступенчатые с неровными сколами.

Дефекты:

- неровные механические сколы;
- 1 трудно находимое точечное включение в центре или небольшое в периферийной зоне (Рис.3.144а);
- едва заметная приповерхностная сколовая трещина (Рис.3.144б).

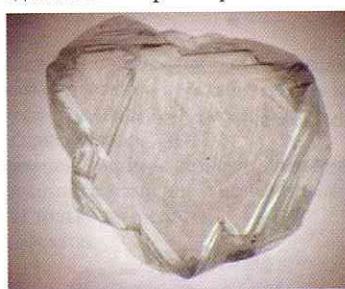


Рис.3.144 а,б. Алмазы позиции Flat Chips 2Q

Flat Chips 3Q

**Кристаллы и их обломки:**

с большим искажением, искаженные;  
с различной рельефностью граней и различными сколами.

Дефекты:

- 1-2 небольших включения в периферийной зоне (Рис.3.145);
- несколько незначительных трещин в периферийной зоне.



Рис. 3.145 Алмаз позиции Flat Chips 3Q

Macclles (Mac)

Качество: 1-3Q;

Цвет: 1-3С

Шпинелевые двойники, их обломки, кристаллы с двойниковыми вростками, с различной рельефностью граней.

Macclles 1Q

Шпинелевые двойники, кристаллы с двойниковыми вростками;  
гладкогранные, с незначительной рельефностью;  
без дефектов, двойниковый шов «ровный» (Рис.3.146).

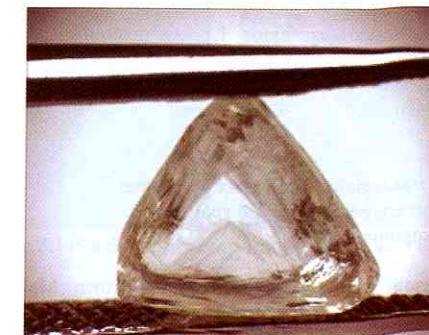


Рис. 3.146 Алмаз позиции Macclles 1Q

Macclles 2Q

Шпинелевые двойники, кристаллы с двойниковыми вростками и их обломки:  
правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, искаженные;  
гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью.

Дефекты:

- несколько плохо видимых нитевидных включений по двойниковой плоскости до промежуточной зоны (Рис.3.98 а) или 1-2 небольших включения на поверхности;
- обратнопараллельные двойники, без дефектов (Рис.3.98 б).

Macclles 3Q

Шпинелевые двойники, кристаллы с двойниковыми вростками и их обломки:  
правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, искаженные;  
гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью, ступенчатые.

Дефекты:

- включения: 1-2 незначительных в периферийной и промежуточной зонах;

- небольшое включение в центральной зоне;
- в двойниках и обломках с плоскими гранями нитевидные включения в объеме промежуточной зоны (Рис.48 б);
- шов двойникования «неровный» до промежуточной зоны;
- двойники с вrostком с прорастанием в периферийной зоне;
- сросток 2-3 двойников, но с доминированием 1-го по объему;
- 1-2 небольшие трещины разного направления (Рис.3.147).



Рис.3.147. Алмаз позиции Maccles 3Q

#### Colored & Brown Makeables

Качество: 1 –3Q;

Цвет: 4C, CP,1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

По уровню дефектности соответствуют 1,2,3,Q позиций Ch и Mac и кристаллы с искажением -3/4Q позиции Irt.

#### Brown Makeables (Btr Mb)

Качество: 1, 2Q;

Цвет: 5,6 BRN.

**Кристаллы и шпинелевые двойники, и их обломки;**  
с различным искажением и рельефностью граней;  
коричневые и темно-коричневые.

#### Brown Makeables 1Q

Характеристики алмазов 1-го качества позиции Brown Makeables по дефектности соответствуют характеристикам 1 и 2-го качества алмазов позиций Chips и Maccles.

#### Brown Makeables 2Q

Характеристики алмазов 2-го качества позиции Brown Makeables по дефектности соответствуют характеристикам 3-го качества алмазов позиций Chips и Maccles.

#### Makeable Flats (Mb Fl)

Качество:1,2Q;

Цвет:1-3C

Сильно уплощенные кристаллы и двойники.

#### Makeable Flats 1Q

Кристаллы и обломки кристаллов с протомагматическими ровными сколами, шпинелевые двойники:

с большим искажением и пластинчатые;  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой ступенчатостью;  
без дефектов (Рис.3.148 а,б).

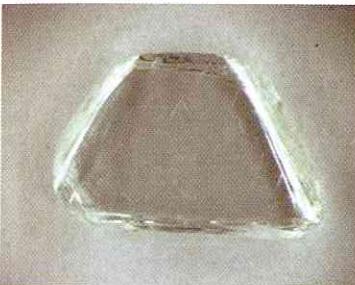


Рис.3.148 а, б. Алмазы позиции Makeable Flats 1Q



б)

#### Makeable Flats 2Q

#### Кристаллы, шпинелевые двойники и их обломки (Рис.3.149 а,б):

с большим искажением и пластинчатые;  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой ступенчатостью;  
включения и следы прорастания до промежуточной зоны.

При мечани ие. Допускаются:

- механические сколы с единичными незначительными сколовыми трещинами.
- Несколько незначительных включений в периферийной зоне.



Рис.3.149 а, б. Алмазы позиции Makeable Flats 2Q



б)

#### Clivage Flats (Cliv F 1)

Качество:одно;

Цвет:1-3C.

Сильно уплощенные обломки кристаллов и двойников:  
Clivage Flats

#### Обломки кристаллов и двойников:

с большим искажением, пластинчатые;  
с различной рельефностью поверхности, (Рис.3.150а, б) с раковистыми сколами и неравномерной толщиной.

Дефекты:

- несколько мелких трещин различного направления;
- 2-3 больших включения в центральной или периферийной зонах (компактно расположенные).



Рис.3.150 а,б. Алмазы позиции Clivage Flats

#### Clivage Makeables (Cliv Mb)

Качество: одно;

Цвет: 1-3C, 1LTPQ, 2/3LTPQ, GRY, CLD, CP, CLDLTPQ, 1-4BRN, LTBRNPQ, DKBRNPQ, 1/2, 3/4BLKBRN)

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и их обломки, параллельные сростки;

с различным искажением и рельефностью граней;

с включениями и единичными трещинами в различных зонах, с вrostками.

Сыре предназначенные для раскалывания.

Примечание. В кристалле около 50% чистого объема без дефектов (Рис.3.151 а,б).



Рис.3.151а,б. Алмазы позиции Clivage Makeables

#### Brown Clivage (Brn Cliv)

Качество: одно;

Цвет: 5/ 6BRN.

Характеристики качества алмазов позиции Brown Clivage по уровню дефектности соответствуют характеристикам качества алмазов позиции Clivage Makeables.

Отбираются по цвету насыщенного коричневого цвета.

#### Rejections (Rej)

Качество: 1-3Q;

-11+12, 2GR Цвет: 1-3C, 1, 2/3CLTPQ, GRY, BLK, CLD, CP, CLDLTPQ, 1-4BRN, LTBRNPQ, DKBRNPQ, 1/2, 3/4BLKBRN.

3GR Цвет: 1-3C, GRY, BLK, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN.

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники, незакономерные сростки и их обломки:

с различным искажением и рельефностью граней с многочисленными большими дефектами.

#### Rejections 1Q

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и их обломки, незакономерные сростки с различным искажением и рельефностью с большими включениями и большими секущими трещинами и вrostками.

Примечание. Свободная от дефектов зона (Рис.3.152а,б) занимает не менее 1/3 кристалла.



а)

б)

Рис.3.152 а,б. Алмазы позиции Rejections 1Q

#### Rejections 2Q

Обломки кристаллов и шпинелевых двойников и незакономерные сростки с различным искажением и рельефностью граней с большими включениями и большими, глубокими, секущими трещинами (Рис.3.153).



Рис.3.153. Алмаз позиции Rejections 2Q

#### Rejections 3Q

Обломки кристаллов и шпинелевых двойников, незакономерные сростки их обломки с очень большими включениями и большими секущими трещинами (Рис.3.154 а,б).



а)

б)

Рис.3.154 а,б. Алмазы позиции Rejections 3Q

## Brown Rejections (Brn Rej)

**Качество: одно**

**Цвет: 5/ 6BRN**

Характеристики качества алмазов позиции Brown Rejections по уровню дефектности соответствуют характеристикам 1, 2-го качества алмазов позиции Rejections.

## Coated Clivage

**Качество: 1,2,3**

**Цвет: не выделяется**

### Coated Clivage 1Q

Алмазы в оболочке (Рис.3.155 а,б) по уровню дефектности соответствуют позициям Chips 1-3Q, Maccles 1-3Q, Irregulars 1-2 Q.



Рис.3.155 а, б. Алмазы позиции Coated Clivage 1Q

### Coated Clivage 2Q

Алмазы в оболочке по уровню дефектности соответствуют позициям Clivage Makeables, Irregulars 3/4Q (Рис.3.156).



Рис.3.156. Алмаз позиции Coated Clivage 2Q

### Coated Clivage 3Q

Алмазы в оболочке по уровню дефектности соответствуют позициям Rejections 1Q .

### Coated Rejections

Алмазы в оболочке по уровню дефектности соответствуют позициям Rejections 2-3Q (Рис.3.157 а,б).



Рис.3.157 а,б. Алмазы позиции Coated Rejections

## Boart (Boart)

**Качество: 1-3Q;**

**Цвет: не выделяется.**

Обломки кристаллов, сростки и их обломки, с очень большим количеством дефектов. Boart 1Q

Обломки кристаллов, сростки и их обломки (Рис.3.158):

с различным искажением;

различной рельефностью граней, с большими включениями и трещинами.

Примечание. 1. «Окна», свободные от дефектов составляют не более 1%;

2. крупнозернистые сростки с таким множеством дефектов, что камни не просматриваются, непрозрачные, слабо просвечивающие.



Рис.3.158. Алмаз позиции Boart 1Q

### Boart 2Q

Сростки и их обломки с большим количеством дефектов, свободных зон почти нет.

Примечание. Крупнозернистые агрегаты (Рис.3.159 а, б), как правило, черные, не просвечивающие.



Рис.3.159 а,б. Алмазы позиции Boart 2Q

### Boart 3Q

Обломки сростков, мелкозернистые массы или агрегаты, коксовидные, без явного "алмазного" блеска с большими, многочисленными включениями и трещинами (Рис.3.160).



Рис. 3.160. Алмазы позиции Boart 3Q

### Cubes (Cubes)

Кристаллы кубической формы (Рис.3.161 а,б).

Примечание. Только для размерно-весовой группы 3gr.

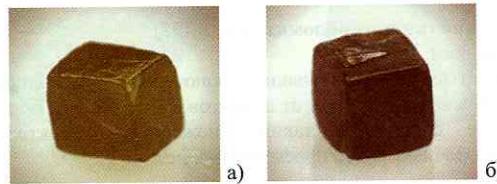
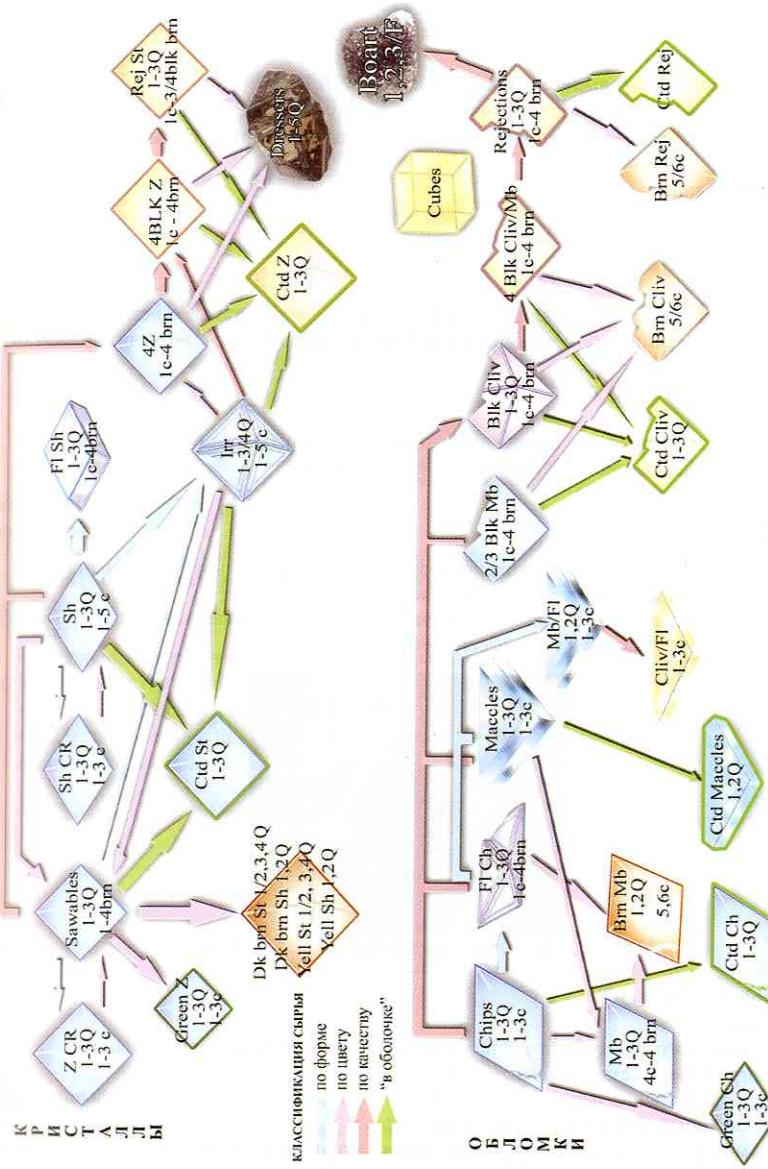


Рис. 3.161 а,б. Алмазы позиции Cubes

## Структура классификации алмазов размерностей: 4-6 gr



### 3.13. Размерно – весовая группа 4-6Gr

#### Новое: 4-6 gr

В номенклатуре позиций и групп качества алмазов размерно-весовой группы 4-6GR в отличие от классификации алмазов размерно-весовой группы -12 +11 - 3 GR вводятся следующие дополнения и изменения:

- в группе обломков выделена новая позиция 2/3 BLK MB;
- в позиции Cliv/ Mb появились качества BLK Cliv 1, 2, 3 Q; 4 BLK Cliv/Mb.
- алмазы в оболочке отсортировываются в отдельные позиции Ctd Ch и Ctd Mac.

#### Группа кристаллов

##### Sawable Crystals

Качество: 1-3Q;

Цвет: 1- 3C.

Целые кристаллы октаэдрического габитуса, правильной формы, с незначительным искажением, плоскогранные, с острыми вершинами, острореберные, с незначительным округлением ребер.

##### Sawable Crystals 1Q

###### Кристаллы:

октаэдрического габитуса, правильной формы, с незначительным искажением; плоскогранные, с незначительным округлением ребер; без дефектов (Рис.103а,б).

##### Sawable Crystals 2Q

###### Кристаллы:

октаэдрического габитуса, правильной формы, с незначительным искажением; плоскогранные, с незначительным округлением ребер.

Дефекты: незначительные единичными включениями в периферийной или промежуточной зонах и каналы травления в периферийной зоне (Рис.3.162).

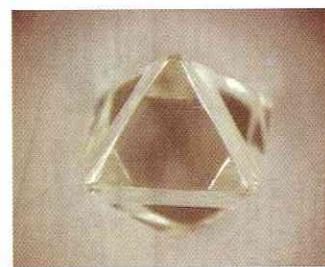


Рис.3.162. Алмаз позиции Sawable Crystals 2Q

##### Sawable Crystals 3Q

###### Кристаллы:

октаэдрического габитуса, правильной формы, с незначительным искажением; плоскогранные, с незначительным округлением ребер.

Дефекты: небольшие единичные включения в различных зонах или небольшие включения в периферийной и промежуточной зонах.

Примечание. Допускается скол по граням в приповерхностной зоне (Рис. 3.112).

##### Sawables (Z)

Качество:1-3Q;

#### Цвет:1-5C.

Целые кристаллы, октаэдрического и додекаэдрического габитуса, правильной формы и с незначительным искажением, гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью граней.

##### Sawables 1Q (Z1Q)

###### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным искажением; гладкогранные, с незначительной рельефностью, плоскогранные, кривогранные (Рис.3.163); без дефектов.

Примечание. Допускаются 1-2 ложных коротких ребра.



Рис. 3.163. Алмаз позиции Sawables 1Q

##### Sawables 2Q

###### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным искажением; гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью (Рис.3.164), плоскогранные, кривогранные;

###### Дефекты:

- включения - единичное точечное в центральной зоне или 1 небольшое - в периферийной или промежуточной зонах;
- фигуры травления, но не глубокие (Рис.3.48а);
- 1-2 незначительно поврежденные вершины, но без трещин;
- линии скольжения.



Рис. 3.164. Алмаз позиции Sawables 2Q

##### Sawables 3Q

###### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным искажением; гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью граней, плоскогранные, кривогранные.

###### Дефекты в виде:

-незначительного включения в центральной зоне;

- небольшого включения явно видимого или группы локализованных точечных включений в промежуточной или периферийной зонах (Рис.3.49);
- небольшого скола на грани;
- трещины в объеме периферийной зоны (Рис.3.165).



Рис.3.165. Алмаз позиции Sawables 3Q

#### Shaped Crystals (ShCr)

**Качество: 1-3Q;**

**Цвет: 1- 3С.**

Целые кристаллы октаэдрической формы, с небольшим искажением, плоскограные, острореберные, с незначительным округлением ребер.

Сортировка по качеству происходит аналогично, как в позиции SAWABLES CRYSTALS Shaped Crystals 1Q

**Кристаллы:**

октаэдрического габитуса с небольшим искажением; плоскограные, острореберные, с незначительным округлением ребер; без дефектов (Рис.3.166 а,б).

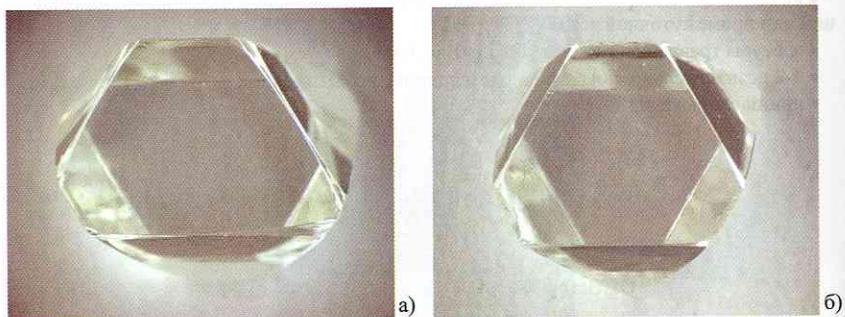


Рис.3.166 а,б. Алмазы позиции Shaped Crystals 1Q

#### Shaped Crystals 2Q

**Кристаллы:**

октаэдрического габитуса с небольшим искажением; плоскограные, острореберные и с незначительным округлением ребер; с незначительными, единичными дефектами в периферийной зоне (Рис.3.167 а,б).

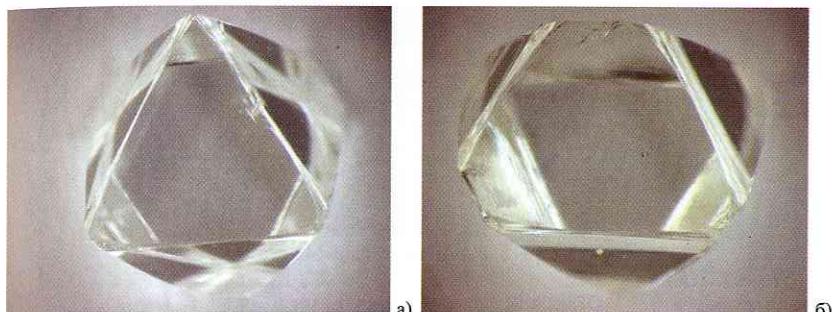


Рис.3.167 а,б. Алмазы позиции Shaped Crystals 2Q

#### Shaped Crystals 3Q

**Кристаллы:**

октаэдрического габитуса с небольшим искажением формы; плоскогранные, острореберные и с незначительным округлением ребер; с небольшими, единичными дефектами в объеме периферийной и промежуточной зон (Рис.3.168а,б).

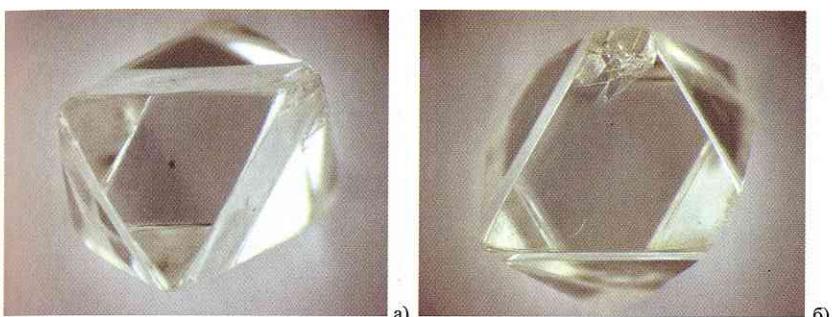


Рис.3.168 а,б. Алмазы позиции Shaped Crystals 3Q

#### Shapes (Sh)

**Качество: 1-3Q;**

**Цвет: 1- 5С. Коричневые и цветные кристаллы сортируются по Sawables.**

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы, удлиненные, с незначительной рельефностью граней.

**Shapes 1Q**

**Кристаллы:**

с небольшим искажением (Рис.3.169 а,б); с незначительной рельефностью граней; без дефектов.



Рис.3.169 а,б. Алмазы позиции Shapes 1Q

#### Shapes 2Q

##### Кристаллы:

с небольшим искажением;  
с незначительной рельефностью граней.

##### Дефекты:

- точечное единичное включение в центральной зоне или 1 небольшое - в периферийной или промежуточной зонах (Рис.163а),
- фигуры травления, но не глубокие;
- 1-2 незначительно поврежденные вершины, но без трещин (Рис.3.170 б);
- линии скольжения.



Рис.3.170 а,б. Алмазы позиции Shapes 2Q

#### Shapes 3Q

##### Кристаллы:

с небольшим искажением;  
с незначительной и небольшой рельефностью граней.

##### Дефекты в виде:

- незначительного включения в центральной зоне (Рис.3.171а);
- небольшого включения, явно видимого, или группы локализованных точечных включений в промежуточной или периферийной зонах (Рис.3.171б);
- сколов - от 1 вершины по 2 граням, с образованием небольших поверхностных трещин;
- 1-2 незначительных поверхностных трещин.

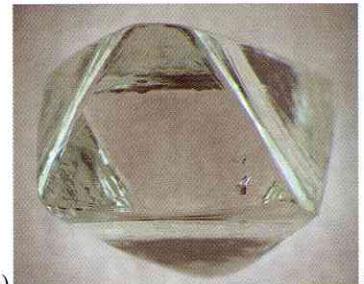


Рис.3.171 а,б. Алмазы позиции Shapes 3Q

#### Green Sawable (GreenX)

##### Качество: 1-3

Цвет: 1,2,3 (зеленый без примеси желтого)

Выделяются алмазы по цвету из позиций Sawables и Shapes.

#### Flat Shapes (Fl Sh)

##### Качество: 1-3Q;

Цвет: 1- 4C, cp,1-4brn

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы, сильно уплощенные и с незначительной рельефностью граней.

#### Flat Shapes 1Q

##### Кристаллы:

- искаженные или с большим искажением (Рис.3.172);
- гладкогранные, с незначительной рельефностью граней, с небольшим округлением ребер;
- без дефектов.



Рис.3.172. Алмаз позиции Flat Shapes 1Q

#### Flat Shapes 2Q

##### Кристаллы:

-искаженные или с большим искажением;

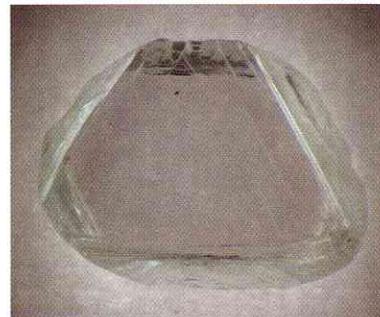
-гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней (Рис.3.173 а);

##### Дефекты:

- 1-2 незначительных точечных включения в периферийной зоне или 1-2 небольших на поверхности (Рис.3.173 б),
- 1-2 незначительные поверхностные трещины.



Рис.3.173 а. Алмазы позиции Flat Shapes 2Q



б)

### Flat Shapes 3Q

#### Кристаллы:

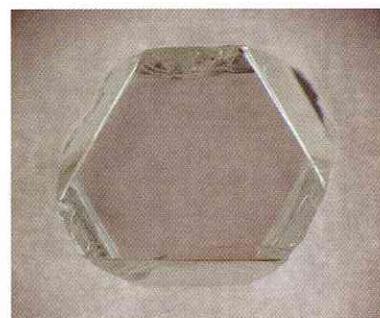
искаженные или с большим искажением формы;  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней.

#### Дефекты:

- небольшие единичные включения в объеме промежуточной зоны (Рис.3.174 а);
- единичные трещины в периферийной зоне (Рис.3.174 б).



Рис.3.174 а. Алмазы позиции Flat Shapes 3Q



б)

### Irregulars (Игг)

#### Качество: 1,2,3/4

#### Цвет: 1-5c

Кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса, от правильной до искаженной формы, с единичными проявлениями резкой рельефности граней, допускаются вrostки, с проростанием до периферийной зоны.

### Irregulars 1Q

#### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;  
ступенчатые, округлые, округло-ступенчатые, с единичными большими ступенями;  
без дефектов (Рис.3.175 а,б).

Допускаются: кристаллы с протомагматическими сколами.



а)



б)

Рис. 3.175 а,б. Алмазы позиции Irregulars 1Q

### Irregulars 2Q

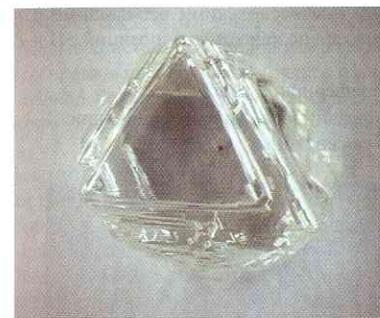
#### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;  
ступенчатые, округло-ступенчатые с единичными большими ступенями.

Дефекты: единичное незначительное включение в центральной зоне или единичное небольшое в периферийной (Рис.3.176а).

Примечание. Допускаются:

- вrostки, с проростанием до периферийной зоны;
- несколько незначительных включений в периферийной и промежуточной зонах, 1 небольшое - в периферийной;
- "свежий" скол с незначительной трещиной. (Рис.3.176 б).



а)



б)

Рис. 3.176 а,б. Алмазы позиции Irregulars 2Q

### Irregulars 3/4Q

#### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, искаженные;  
ступенчатые, округло-ступенчатые с единичными большими ступенями.

#### Дефекты:

- большие единичные включения в периферийной зоне (Рис.3.177а), в сочетании с незначительными включениями в центральной зоне;
- вrostки со следами прорастания (на 1/3 объема кристалла);
- сколы граней (Рис.3.177б) с множеством сколовых трещин на поверхности (но потери массы кристалла не должны превышать 1/3 объема);
- включения либо небольшое в центральной зоне (иногда с микротрещинами) либо крупное на поверхности;
- возможны незначительные единичные трещины в объеме периферийной зоны.



Рис. 3.177 а,б. Алмазы позиции Irregulars 3/4Q

#### Cape & Brown Sawables (CP & Brn Z)

**Качество:** 1,2,3

**Цвет:** cape, 1brn - 4brn

Отсортировываются по цвету из позиций Z, Sh, Irr 1-2Q коричневые и цветные кристаллы. 1-2Q Irr распределяются на одно качество ниже т.е: **Irregulars 1Q в CP & Brn Z 2Q и т.д**

#### 4Q Sawables (4Z)

**Качество:** одно;

**Цвет:** 1-5C, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4 BLKBRN

Целые кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса, правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, гладкогранные и с незначительной рельефностью граней, с единичным большим дефектом (Рис.3.178а) или несколькими небольшими в различных зонах (Рис.3.178б). Кристаллы отсортировываются по качеству из позиций SH и Z.

Допускаются:

- сколы вершин, каверны, впадины в пределах периферийной зоны;
- трещины: несколько небольших у вершин различного направления; или 1-2 на поверхности, 1 большая параллельная грани до ее середины.



Рис.3.178 а,б Алмазы позиции 4 Quality Sawables

#### 4 Black Sawables (4 BLK Z)

**Качество:** одно;

**Цвет:** 1-3C, GRY, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

Целые кристаллы пониженного качества, правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, с различной рельефностью граней, с большими и очень большими дефектами, занимающими не более 30% объема кристалла.

Отсортировываются в эту позицию алмазы из 4QZ, IRR 3/4Q (изометричной формы).

**Дефекты:**

- кристаллы с вростками, которые имеют прорастания до промежуточной зоны;
- включения: в центральной зоне 1 очень большое или 2 больших; в периферийной зоне различного размера - до 1/3 объема камня (Рис.3.179 а,б);
- серия небольших трещин разного направления, но компактно расположенных в объеме (до 1/4 объема).



Рис.3.179 а,б. Алмазы позиции 4 Black Sawables

#### Rejection Stones (REJ ST)

**Качество:** 1-3Q;

**Цвет:** 1-3C, GRY, CLD, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN.

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы; от правильных до искаженных, с различной рельефностью граней; с очень большими включениями и глубокими, секущими трещинами.

**Примечание.** Наличие острых неповрежденных вершин.

#### Rejection Stones 1Q

**Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней; с единичными очень большими, или небольшими, рассеянными включениями в различных зонах и с глубокими единичными секущими трещинами (Рис.3.180).

**Примечание.** Включения и трещины, в сумме занимают 1/3 объема камня, отсутствует не более 1 вершины.



Рис. 3.180. Алмаз позиции Rejection Stones 1Q

## Rejection Stones 2Q

### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные; гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней; с большими и очень большими включениями в различных зонах и с секущими трещинами (Рис.3.181 а,б).

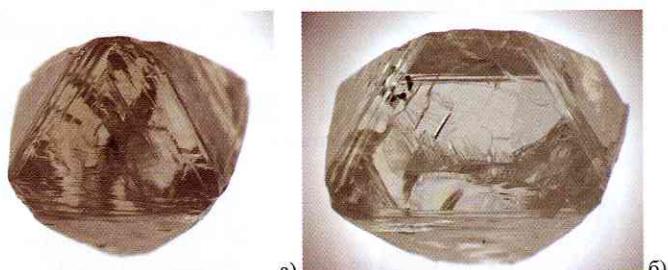


Рис.3.181 а,б Алмазы позиции Rejection Stones 2Q

## Rejection Stones 3Q

### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные; гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней; с очень большими, многочисленными включениями в различных зонах, в сочетании с глубокими, секущими трещинами.

Примечание. Свободные от дефектов зоны у вершин (Рис.3.182 а,б).



Рис.3.182 а, б. Алмазы позиции Rejection Stones 3Q

## Industrial Serie (Ind Serie)

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы; с различной рельефностью граней; густо окрашенные, отбираются для инструмента, но могут использоваться и для изготовления бриллиантов.

## Dark Brown Stones (DkBrn St)

Качество:  $\frac{1}{2}$ , 3,4

Цвет: Dark Brown

## Yellow Stones (Yell St)

Качество:  $\frac{1}{2}$ , 3,4

Цвет: Yellow

### 1/2Q

Алмазы группы дефектности 1/2Q отбирают по цвету из позиций Sawables 1-2Q

### 3Q

Алмазы группы дефектности 3Q отбирают по цвету из позиций Sawables 3Q.

### 4Q

В это качество отсортировываются по цвету алмазы из позиции 4 Z.

## Dark Brown Shapes (Dk Brn Sh)

Качество: 1, 2

Цвет: Dark Brown

## Yellow Shapes (Yell)Sh

Качество: 1,2

Цвет: Yellow

### 1Q

В это качество отбирают алмазы по цвету из позиций Shapes 1-2Q

### 2Q

В это качество отбирают алмазы по цвету из позиции Shapes 3Q

## Dressers (Dr)

Качество: 1-5Q;

Цвет: не выделяется

Целые кристаллы октаэдрической формы; с различной рельефностью граней; с различными дефектами, и имеющие, по крайней мере, одну бездефектную вершину. Отбираются для изготовления правящего инструмента.

### Dressers 1Q

Кристаллы: Отбираются из позиций 4ZQ, и верх 4 BLK Z по цвету, характерна хорошая форма, сохранность всех вершин.

### Dressers 2Q

Отбираются из позиции 4 BLK Z по цвету, характерна хорошая кристальная форма, сохранность 4-5 вершин.

### Dressers 3Q

Отбираются по цвету из позиции Rejection Stones 1Q (Рис.3.183 а,б).

Примечание. Сохранность не менее 3-х вершин.



Рис.3.183 а, б. Алмазы позиции Dressers 3Q

#### Dressers 4Q

Отбираются по цвету из позиции Rejection Stones 2Q (Рис.3.184).



Рис. 3.184. Алмаз позиции Dressers 4Q

#### Dressers 5Q

Отбираются по цвету из позиции Rejection Stones 3Q (Рис.3.185 а,б).

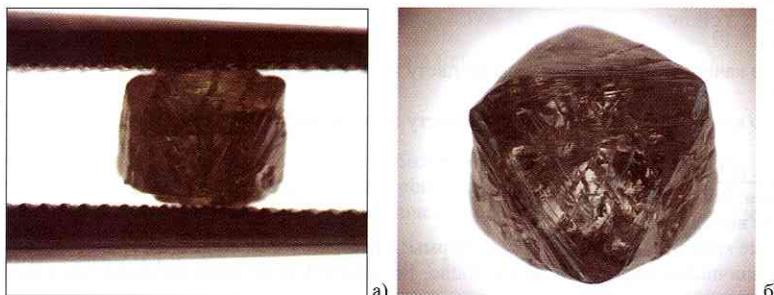


Рис.3.185 а,б. Алмазы позиции Dressers 5Q

#### Coated Stones (Ctd St)

**Качество:** 1,2,3

**Цвет:** не выделяется

##### Coated Stones 1Q

Выделяются алмазы в оболочке (Рис.3.134) по дефектности соответствующие позициям Z 1Q, Sh 1Q, Irr 1Q (при наличии хорошей формы).

##### Coated Stones 2Q

Выделяются алмазы в оболочке по дефектности соответствующие позициям Z 2Q, Sh 2Q, Irr 1Q (Рис.3.135).

##### Coated Stones 3Q

Выделяются алмазы в оболочке по дефектности соответствующие позициям Z 3Q, Sh 3Q, Irr 2Q и верх качества Irr 3/4Q (Рис.3.136).

#### Coated Sawables

**Качество 1,2,3,**

**Цвет** не выделяется

##### Coated Sawables 1Q

Выделяются алмазы в оболочке по дефектности соответствующие позициям 4QZ, Irr 3/4Q (Рис.3.186 а,б).



а)

б)

Рис. 3.186 а,б. Алмазы позиции Coated Sawables 1Q

#### Coated Sawables 2Q

Выделяются алмазы в оболочке по дефектности соответствующие позициям 4 Black Sawables, верх качества Rejection Stones 1Q (Рис.3.137).

#### Coated Sawables 3Q

Выделяются алмазы в оболочке по дефектности соответствующие позиции Rejection Stones 1-3Q (Рис.3.187).



Рис.3.187. Алмаз позиции Coated Sawables 3Q

#### Группа обломков:

Chips (Ch)

**Качество:** 1-3Q;

**Цвет:** 1-3C.

Обломки правильной формы с различной рельефностью граней.

#### Chips 1Q

**Кристаллы:**

с небольшим искажением, искаженные;  
с рельефностью граней, округло-ступенчатые и с большой ступенчатостью, с природными сколами;  
без дефектов (Рис.3.188а).

**Обломки кристаллов:**

правильной формы, с незначительным искажением; с плоскими гранями или с незначительной ступенчатостью, с протомагматическими сколами;

Сколы только природные (Рис.3.188б).

Без дефектов.



Рис. 3.188а,б Алмаз позиции Chips 1Q

### Chips 2Q

#### Кристаллы:

с небольшим искажением;  
с рельефностью граней, округло-ступенчатые и с большой ступенчатостью (Рис.182а).

#### Обломки кристаллов:

правильной формы, с незначительным искажением; с различной рельефностью, с различными типами сколов (Рис.3.189б).

#### Дефекты:

- 1 небольшое включение в периферийной зоне;
- 2 незначительные поверхностные трещины, сколового характера.



Рис.3.189 а,б. Алмазы позиции Chips 2Q

### Chips 3Q

#### Кристаллы:

с небольшим искажением; с рельефностью граней, округло-ступенчатые и с большой ступенчатостью.

#### Обломки кристаллов:

- правильной формы, с незначительным, небольшим искажением;
- с различной рельефностью граней, с различными типами сколов.

#### Дефекты:

- нескольких крупных включений в периферийной зоне или одно крупное в центре, все дефекты расположены достаточно компактно (Рис.3.190а);
- 2-3 небольшие трещины, разного направления, но не глубже промежуточной зоны (Рис.3.190б).

#### Примечание. Допускаются:

- обломки с вростками без глубоких прорастаний;

- прозрачные кубы без дефектов.



Рис.3.190 а,б. Алмазы позиции Chips 3Q

### Green Chips (Green Ch)

#### Качество:1-3Q;

Цвет:1-3 (зеленые без примеси желтого).  
Выделяются по цвету из позиции Chips.

### Flat Chips (Fl Ch)

#### Качество:1-3Q;

Цвет:1-4C, CP, 1-4BRN.

Кристаллы со сколами и их обломки; сильно искаженные, уплощенные, с различной рельефностью граней.

### Flat Chips 1Q

#### Кристаллы и их обломки:

с большим искажением формы, искаженные;  
с единичными ступенями на гранях и протомагматическими сколами;  
без дефектов (Рис. 3.191 а,б).

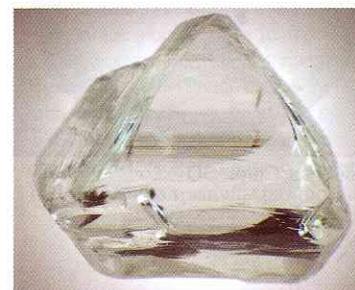


Рис.3.191 а,б. Алмазы позиции Flat Chips 1Q

### Flat Chips 2Q

#### Кристаллы и их обломки:

- с большим искажением формы, искаженные;
- ступенчатые, с неровными сколами.

#### Дефекты:

- неровные механические сколы (Рис3.192);
- 1 трудно находимое точечное включение в центре или небольшое в периферийной зоне;
- едва заметная приповерхностная сколовая трещина.



Рис. 3.192 Алмаз позиции Flat Chips 2Q

### Flat Chips 3Q

#### Кристаллы и их обломки:

- с большим искажением формы, искаженные;
- с различной рельефностью граней и различными сколами.

#### Дефекты:

- 1-2 небольших включения в периферийной зоне (Рис.3.193 а);
- несколько незначительных трещин в периферийной зоне (Рис3.193б).



Рис. 3.193 а, б. Алмазы позиции Flat Chips 3Q

### Maccles (Mac)

Качество:1-3Q;  
Цвет:1-3C.

Шпинелевые двойники, кристаллы с двойниковыми вростками и их обломки, с различной рельефностью граней.

### Maccles 1Q

Шпинелевые двойники, кристаллы с двойниковыми вростками;  
гладкогранные, с незначительной рельефностью;  
без дефектов, шов срастания «кровный» (Рис.3.146).

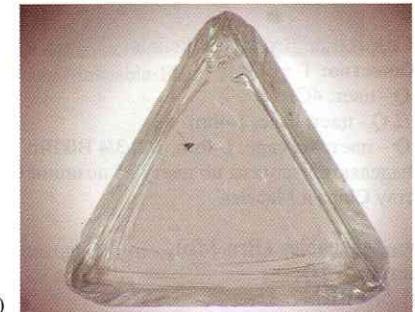
### Maccles 2Q

Шпинелевые двойники, кристаллы с двойниковыми вростками и их обломки:  
правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, искаженные;  
гладкогранные, с незначительной и небольшой рельефностью.

#### Дефекты:

- обратнопараллельные двойники, без дефектов;
- небольшие, единичные включения в объеме периферийной зоны (Рис. 3.194а);
- возможны следы срастания в объеме периферийной зоны;
- несколько плохо видимых нитевидных включений по шву срастания до промежуточной зоны или 1-2 небольших включения в приповерхностной зоне (Рис.3.194б);
- незначительная сколовая трещинка на поверхности.

Примечание. В обломках должно быть потеряно не более 1/2 объема кристалла.



а) б)

Рис. 3.194 а,б. Алмазы позиции Maccles 2Q

### Maccles 3Q

Шпинелевые двойники, кристаллы с двойниковыми вростками и их обломки:  
правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, искаженные;  
гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью, ступенчатые.

#### Дефекты:

- включения: 1-2 незначительных в периферийной и промежуточной зонах;
- небольшое включение в центральной зоне;
- в двойниках и обломках с плоскими гранями нитевидные включения в объеме промежуточной зоны (Рис.3.195 а);
- шов срастания «неровный» до промежуточной зоны;
- двойники с вростком прорастания до периферийной зоны;
- сросток 2-3 двойников, но с доминированием 1-го по объему;
- 1-2 небольшие трещины разного направления (Рис.3.195б).



Рис. 3.195 а,б. Алмазы позиции Maccles 3Q

#### Colored & Brown Makeables

**Качество:** 1 – 3Q;  
1Q - цвет: 4C.

1/2 Q - цвет: cape, 1-4brn

3Q – цвет: 4c, cape, 1-4brn, 1/2, 3/4 BlkBrn.

Выделяются алмазы по цвету из позиций Chips и Maccles, по дефектности соответствуют качеству Chips и Maccles.

#### Brown Makeables (Brn Mb)

**Качество:** 1, 2Q;  
**Цвет:** 5, 6BRN

**Кристаллы и шпинелевые двойники, и их обломки;**  
с различным искажением; и рельефностью граней;  
коричневые и темно-коричневые.

**Примечание.** 1. Характеристики алмазов 1-го качества позиции Brown Makeables соответствуют характеристикам 1 и 2-го качества алмазов позиций Chips и Maccles.

2. Характеристики алмазов 2-го качества позиции Brown Makeables соответствуют характеристикам 3-го качества алмазов позиций Chips и Maccles.

#### Makeable Flats (Mb Fl)

**Качество:** 1,2Q;  
**Цвет:** 1-3C.

Сильно уплощенные кристаллы и двойники.

#### Makeable Flats 1Q

**Кристаллы и их обломки с протомагматическими ровными сколами,**  
**шпинелевые двойники:**

с большим искажением и пластинчатые;  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой ступенчатостью;  
без дефектов (Рис.3.148).

#### Makeable Flats 2Q

**Кристаллы, шпинелевые двойники и их обломки:**

с большим искажением и пластинчатые;  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой ступенчатостью;  
включения и следы прорастания до промежуточной зоны.

**Примечание.** Допускаются: механические сколы с единичными незначительными сколовыми трещинами (Рис.3.196а); несколько незначительных включений в периферийной зоне (Рис.3.196б).



Рис.3.196 а,б. Алмазы позиции Makeable Flats 2Q

#### Clivage Flats (Cliv Fl)

**Качество:** одно;  
**Цвет:** 1-3C.

**Обломки кристаллов и двойников:**

с большим искажением, пластинчатые;  
с различной рельефностью поверхности, с раковистыми сколами и неравномерной толщиной (Рис.3.197).

**Дефекты:**

- несколько мелких трещин различного направления;
- 2-3 больших включения или в центре, или на периферии, компактно расположенные.

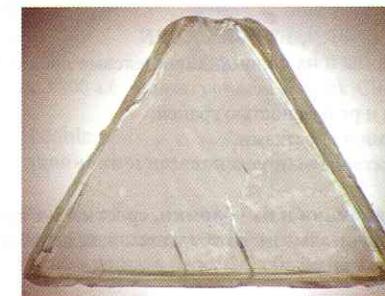


Рис.3.197. Алмаз позиции Clivage Flats

#### 2/3Black Makeable (2/3Blk Mb)

**Качество:** 2/3Q;  
**Цвет:** 1 – 3C, GRY, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

**Кристаллы и их обломки:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;  
с различной рельефностью граней.

**Дефекты:**

- небольшие единичные включения в центральной зоне;
- несколько небольших включений в различных зонах (Рис. 3.198а);

- большие единичные включения в различных зонах;
- незначительные трещины в периферийной зоне.

#### Шпинелевые двойники и их обломки:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением.

Дефекты:

- небольшие включения чаще в виде многочисленных нитей прорастания, которые расположены по плоскости срастания (Рис.1916);
- трещины допускаются только единичные, незначительные, сколовые.

Примечание. Для данной позиции характерны дефекты только в виде включений, трещины могут быть незначительные, поверхностные. Дефекты не выводятся при огранке.



Рис.3.198 а,б. Алмазы позиции 2/3Black Makeable

#### Black Clivage (Blk Cliv)

Качество: 1, 2Q;

Цвет: 1-3C, CLD, CP, 1-4BRN,

Качество: 3Q;

Цвет: 1-3C, GRY, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

Кристаллы различной формы и их обломки, шпинелевые двойники, незакономерные сростки и их обломки;

с различным искажением и рельефностью граней;

с трещинами, включениями и вростками.

#### 1 Black Clivage

Кристаллы, шпинелевые двойники и их обломки, сростки 2-х кристаллов:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением и искаженные; с различной рельефностью граней;

Дефекты:

1 секущая трещина в средней части алмаза.

Иногда к этому качеству относят сростки из 2-х кристаллов, с видимой поверхностью срастания и отсутствием других каких либо дефектов. При разделении по трещине или плоскости срастания у сростков должно получиться 2 чистых куска.

#### 2 Black Clivage

Те же формы, что и в 1 Blk Cliv.

Дефекты:

- 1-2 секущие трещины или 2-3 откалывающие (Рис.3.199 а,б),
- 1-4 включения в периферийной зоне или 1 большое в центре.

Чистая от дефектов зона составляет 2/3 объема.



Рис.3.199 а,б. Алмазы позиции 2 Black Clivage

б)

#### 3 Black Clivage

Кристаллы, шпинелевые двойники, незакономерные сростки и их обломки:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные; с различной рельефностью граней,

Дефекты:

Трещины и включения в различных зонах, вростки.

Примечание. Свободная от дефектов зона составляет  $\frac{1}{2}$  объема (Рис.3.200 а,б).

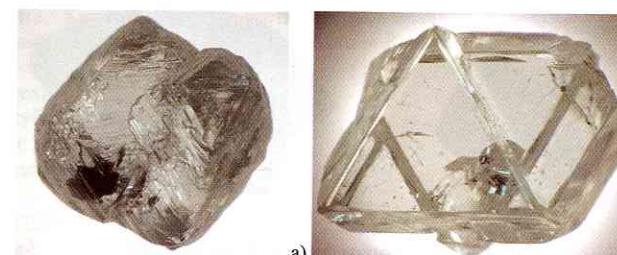


Рис.3.200 а,б. Алмазы позиции 3 Black Clivage

б)

#### 4 Black Clivage/Makeable

Кристаллы, шпинелевые двойники и незакономерные сростки и их обломки:

различной формы;

с различной рельефностью граней;

с трещинами и включениями различного размера;

Количество дефектов не должно занимать более 2/3 объема кристалла (Рис.3.201 а,б).



Рис.3.201 а,б. Алмазы позиции 4 Black Clivage

б)

### Brown Clilage (Brn Cliv)

**Качество:** одно;

**Цвет:** 5/6BRN (темно-коричневые).

Примечание. Характеристики качества алмазов позиции Brown Clilage соответствуют характеристикам качества алмазов позиций.

2/3Black Makeable, Black Clilage.

### Rejections (REJ)

**Качество:** 1-3Q;

**Цвет:** 1-3C, GRY, BLK, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN.

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и незакономерные сростки и их обломки с различным искажением и рельефностью граней и многочисленными большими дефектами.

### Rejections 1Q

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и их обломки, незакономерные сростки:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;

с различной рельефностью граней,

с большими включениями и большими секущими трещинами и вrostками.

Примечание. Дефекты различного характера и масштаба, но не более 1/3 объема камня (Рис.3.202 а,б).



Рис.3.202 а,б. Алмазы позиции Rejections 1Q

### Rejections 2Q

**Обломки кристаллов и шпинелевых двойников и незакономерные сростки:**

с различным искажением до пластинчатых;

с различной рельефностью граней;

с большими включениями и большими, глубокими, секущими трещинами.

Примечание. Камни с большим количеством дефектов, свободные зоны - 15-20% (Рис.3.203).



Рис.3.203. Алмаз позиции Rejections 2Q

### Rejections 3Q

Обломки кристаллов и шпинелевых двойников, незакономерные сростки их обломки с очень большими включениями и большими секущими трещинами (Рис.3.204 а,б). Выделяются небольшие свободные от дефектов участки («окна») до 5%.



Рис.3.204 а,б. Алмазы позиции Rejections 3Q

### Brown Rejections (Brn Rej)

**Качество:** одно;

**Цвет:** 5/6BRN

Примечание. Характеристики качества алмазов позиции Brown Rejections соответствуют характеристикам 1, 2-го качества алмазов позиции Rejections.

### Cubes (Cubes)

Кристаллы кубической формы (Рис.3.162 а,б).

**Качество:** не выделяется;

**Цвет:** не выделяется.

### Coated Maccles

**Качество:** 1-3

**Цвет:** не выделяется.

### Coated Maccles 1Q

Алмазы в оболочке по степени дефектности соответствуют позиции Maccles 1Q.

### Coated Maccles 2Q

Алмазы в оболочке по степени дефектности соответствуют позиции Maccles 2Q (Рис.3.205)



Рис.3.205. Алмаз позиции Coated Maccles 2Q

### Coated Maccles 2Q

Алмазы в оболочке по степени дефектности соответствуют позиции Maccles 3Q.

### Coated Chips

Качество: 1-3

Цвет: не выделяется.

### Coated Chips 1Q

Алмазы в оболочке по степени дефектности соответствуют позиции Chips 1Q.

### Coated Chips 2Q

Алмазы в оболочке по степени дефектности соответствуют позиции Chips 2Q.

### Coated Chips 3Q

Алмазы в оболочке по степени дефектности соответствуют позиции Chips 3Q (Рис.3.206).



Рис.3.206 Алмаз позиции Coated Chips 3Q

### Coated Clivage 1Q

Алмазы в оболочке (Рис.3.207 а,б).по дефектности соответствуют уровню качества позиций - 1 BLK CLIV, 2/3 BLK MB, 2 BLK CLIV (верх качества).



Рис.3.207 а,б. Алмазы позиции Coated Clivage 1Q

### Coated Clivage 2Q

Алмазы в оболочке (Рис.3.208) по дефектности соответствуют уровню качества позиций -2/3 BLK CLIV, 2/3 BLK MB (самый низ качества).



Рис.3.208 Алмазы позиции Coated Clivage 2Q

### Coated Rejections

Алмазы в оболочке (Рис.3.209 а,б) по дефектности соответствуют уровню качества позиций REJ 1-3Q.



Рис.3.209 а,б. Алмазы позиции Coated Rejections



б)

### Boart (Boart)

Качество: 1-3Q;

Цвет: не выделяется.

Обломки кристаллов, сростки и их обломки, с очень большим количеством дефектов.

### Boart 1Q

Обломки кристаллов, сростки и их обломки с различным искажением, с различной рельефностью граней.

Крупнозернистые сростки.

С различными включениями и трещинами.

Примечание. Окна, свободные от дефектов составляют не более 1% (Рис.3.210).



Рис.3.210. Алмаз позиции Boart 1Q

Boart 2Q

Сростки и обломки сростков, мелко-крупнозернистые агрегаты:

- с различным искажением;
- с различной рельефностью граней;
- с большими включениями и секущими трещинами.

Примечание. Как правило, черные, не просвечивающие (Рис.3.211).



Рис.3.211. Алмаз позиции Boart 2Q

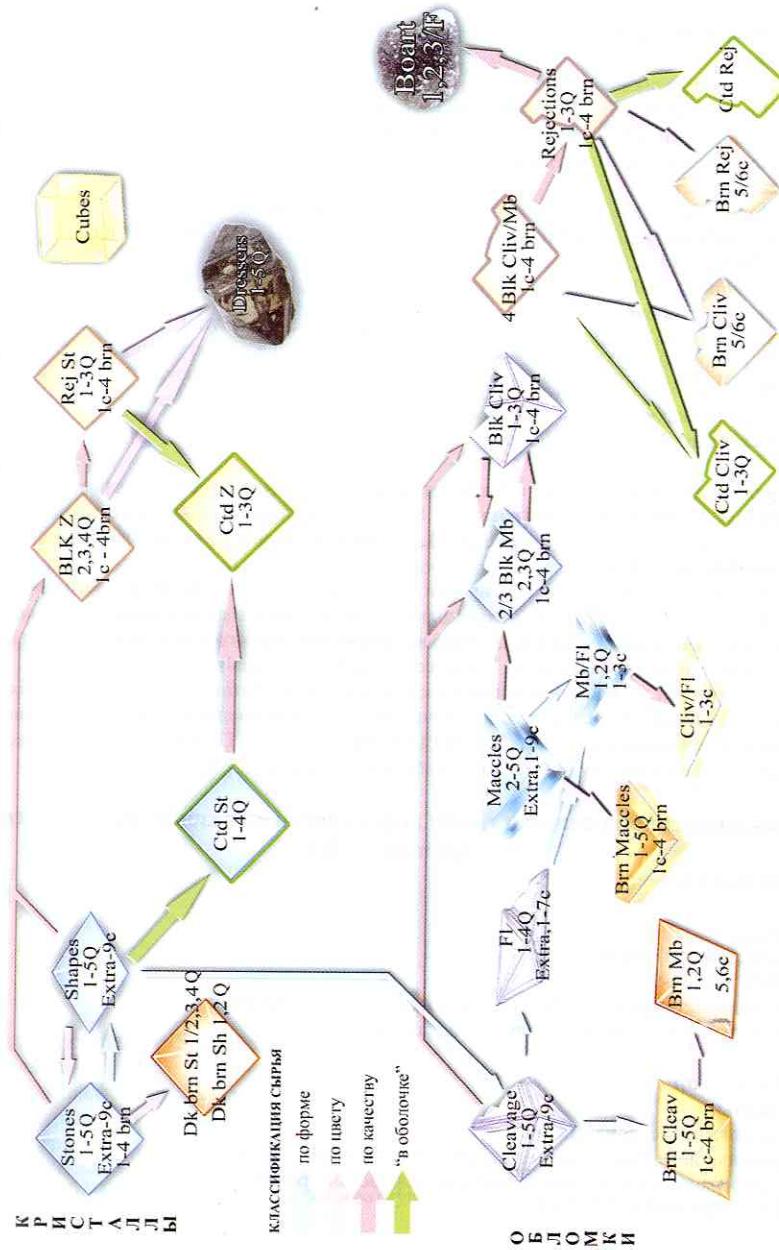
Boart 3/FQ

Мелкозернистые массы, коксовидные, без явного алмазного блеска (Рис.3.212).



Рис. 3.212. Алмаз позиции Boart 3/F Q

## Структура классификации алмазов размерностей: +1,8 ct



### 3.14. Размерно-весовая группа +1.8ct

По сравнению с размерно-весовой группой 4-6 гр в группе +1.8ct произошли следующие изменения:

1. Изменилось название кристаллов правильной формы: ZSt.
2. В позициях St и Sh стало 5 качеств (top, spt, spec, dk, blk).
3. Появилась позиция BLK Z (вместо 4Z и 4 BLK Z).
4. Представлена новая позиция для ступенчатых кристаллов и их обломков: Cleavage (Cl).
5. Новое обозначение уплощённых кристаллов и обломков: Flats (Fl).
6. Коричневый ряд (1-4 brn) в обломках двойниках не объединяются: Brn Cl и Brn Mac.
7. Позиция 2/3 BLK MB делится по качеству: 2 BLK MB и 3 BLK MB.
8. Не отсортировывается из St и Sh позиция Cristals.
9. Нет позиции Green (Z и Ch).
10. Нет позиции Ctd Mac.
11. В обломках стало 5 качеств (top, spt, spec, dk, blk).
12. В двойниках 4 качества (spt, spec, dk, blk).
13. Нет позиций Yell St, Yell Sh.

В международной практике алмазы в зависимости от массы подразделяются на 4 большие группы. Размерно-весовая группа +1,8 карат объединяет все крупные камни, для них существует термин «Лардж» (Large Stones), она является одной из ценообразующих групп по всему массиву месторождения.

Ниже представлена схема сортировки алмазной продукции размерно-весовой группы +1,8 карат, которая разделена на 2 части: кристаллы; обломки и двойниковые образования.

Каждая часть в свою очередь делится на: сырьё ювелирного качества (gem); сырьё околоювелирного качества (near gem); техническое сырьё (industrial).

Далее позиции по наименованиям раскладываются на группы по качеству. Необходимо отметить, что наименование групп по качеству для сырья ювелирного качества происходит в словесной терминологии: TOP, SPOTTED, SPECULATIVE, DARK, BLACK. Для всех остальных групп по качеству применяется цифровая градация: 1, 2 и 3-е качество.

#### Характеристика позиций и групп дефектности алмазов размерно-весовой группы +1,8ct

##### Группа кристаллов:

###### Stones (St)

**Качество:TOP-BLK;**

**Цвет: EXT, 1-9C.**

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы; правильные или с незначительным искажением.

###### Stones Top

##### Кристаллы:

плоскогранные, кривогранные; правильной формы и с незначительным искажением; гладкогранные и с незначительной рельефностью граней. Без дефектов (Рис 3.213 а,б).



Рис.3.213 а,б. Алмазы позиции Stones Top

**Примечание.** 1. Допускается: весьма незначительная притупленность вершин, незначительная стяжённость ребер, единичные точки пигментации на поверхности. Больше никаких дефектов не допускается. 2. Отсутствие любого напряжения в кристалле, т. е. отсутствие в кристалле участков с аномальным двупреломлением.

###### Stones Spotted

##### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным искажением; плоскогранные, кривогранные; гладкогранные, с незначительной рельефностью граней; с единичными незначительными дефектами точечного характера в периферийной и промежуточной зонах кристалла.

Допускаются кристаллы, имеющие линии скольжения.

Дефект трудно находим в 6х лупу, можно применить 10-кратное увеличение (Рис.3.214).



Рис.3.214. Алмаз позиции Stones Spotted

###### Stones Speculative (Spec)

##### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным искажением; плоскогранные, кривогранные, округлые; гладкогранные, с незначительной рельефностью граней; с небольшими включениями в периферийной и промежуточной зоне. Дефекты можно обнаружить в 6х кратную лупу, но без 10-кратного увеличения (Рис.3.215 а,б).



Рис. 3.215 а,б. Алмазы позиции Stones Speculative S(pec)



б)

#### **StonesDark**

##### **Кристаллы:**

правильной формы или с незначительным искажением;  
плоскогранные, кривогранные;  
гладкогранные или с незначительной рельефностью граней.

Дефекты: небольшие дефекты в различных зонах или с единичным большим дефектом в периферийной зоне кристалла; единичным, большим, или с несколькими рассеянными незначительными включениями в различных зонах; с единичными трещинами в объеме промежуточной зоны.

Дефекты, легко находимые при 6х кратном увеличении (Рис.3.216 а,б).



Рис.3.216 а,б. Алмазы позиции Stones Dark



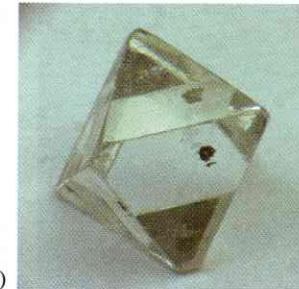
б)

#### **StonesBlack**

##### **Кристаллы:**

правильной формы или с незначительным искажением;  
плоскогранные, кривогранные;  
гладкогранные или с незначительной рельефностью граней;  
с большими единичными включениями в различных зонах, или с незначительными;  
рассеянными включениями в различных зонах.

Примечание. 1. Дефекты либо локализованы в центральной зоне, а периферийная и промежуточная зона - свободны, либо наоборот - все дефекты лежат в периферийной зоне, а центральная и промежуточная зоны — свободны (Рис.3.217 а, б). 2. Трещины - до одной крупной, доходящей до промежуточной зоны или несколько небольших разного направления.



б)

Рис. 3.217 а,б. Алмазы позиции Stones Black

#### **Shapes (Sh)**

##### **Качество:TOP-BLK;**

##### **Цвет: EXT, 1-9C**

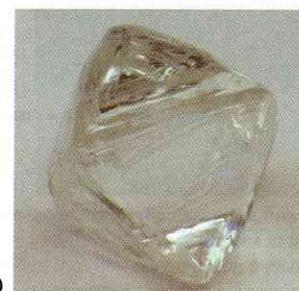
Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы, с небольшим искажением, гладкогранные, с незначительной или небольшой рельефностью граней.

Степень искажения формы в пределах: по осям  $L_2$  и  $L_3$  от 1,3 до 2,00. По группам качества и цвета сортируются аналогично позиции кристаллов STONES.

#### **ShapesTop**

##### **Кристаллы:**

кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы,  
с небольшим искажением,  
гладкогранные, с незначительной рельефностью граней (Рис.3.218 а,б).  
Без дефектов.



б)

Рис.3.218 а,б. Алмазы позиции ShapesTop

#### **Shapes Spotted**

##### **Кристаллы:**

октаэдрической и додекаэдрической формы;  
с небольшим искажением;  
гладкогранные, с незначительной рельефностью граней.

С незначительными дефектами, едва видимыми в 6х лупу (единичные включения и каналы травления в периферийной зоне), (Рис.3.219 а).

Кристаллы с небольшой ступенчатостью граней;  
без дефектов (Рис.3.219 б).



Рис.3.219 а,б. Алмазы позиции ShapesSpotted

#### Shapes Speculative (Spec)

##### Кристаллы:

октаэдрической и додекаэдрической формы;  
с небольшим искажением;  
гладкогранные, с незначительной или небольшой рельефностью граней.  
Дефекты: небольшие в периферийной зоне (Рис.3.220а,б).



Рис. 3.220. Алмазы позиции ShapesSpeculative.

#### ShapesDark

##### Кристаллы:

октаэдрической идодекаэдрической формы;  
с небольшим искажением;  
гладкогранные, с незначительной или небольшой рельефностью граней.  
Дефекты: небольшие дефекты в различных зонах или с единичным большим дефектом в периферийной зоне кристалла; единичные, большие включения в промежуточной зоне (Рис.3.221а) или несколько рассеянных, мелких включений в периферийной и промежуточной зоне; единичные, незначительные трещины в объеме промежуточной зоны (Рис.3.221б).



Рис.3.221 а,б.Алмазы позиции Shapes Dark

#### ShapesBlack

##### Кристаллы:

октаэдрической идодекаэдрической формы;  
с небольшим искажением;  
ладкогранные, с незначительной или небольшой рельефностью граней.  
Дефекты: единичные включения или трещины в периферийной или промежуточной зоне или их различные сочетания (Рис.3.222 а, б);  
единичный большой дефект в центральной зоне;  
небольшие рассеянные включения в объеме промежуточной зоны.



Рис.3.222 а,б. Алмазы позиции Shapes Black

#### Brown Stones (Brn St)

##### Качество: TOP-BLK.

##### Цвет: 1-4BRN.

Группа кристаллов коричневого цветового ряда.

По качеству аналогичные позициям качества STONES и SHAPES.

Примечание. Алмазы позиции Brown Stones отбираются по цвету из алмазов позиций Sawables и Shapes соответствующего качества.

#### Dark Brown Stones (DK BRN ST)

Dark Brown Stones (Dk Brn St) – кристаллы с насыщенным коричневым цветом, темнее 4Brn. Выделяются из позиций STONES и SHAPES. Имеет три качества: 1/2, 3, 4Q

## 1/2Q

Кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы, изометричные или с незначительным искажением, гладкогранные, с незначительной или небольшой рельефностью граней.

Без дефектов, или с незначительными, единичными включениями в периферийной зоне.

Примечание. Алмазы группы дефектности 1/2Q отбираются по цвету из алмазов группы дефектности **Top** и **Spoted** позиции Stones

## 3Q

Алмазы группы дефектности 3Q отбираются по цвету из алмазов группы дефектности **Speculative** и **Dark** позиции Stones.

## 4Q

Алмазы группы дефектности 4Q отбираются по цвету из алмазов группы дефектности **Black** позиции Stones

### Dark Brown Shapes (DK BRN SH)

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы, с небольшим искажением, гладкогранные, с незначительной или небольшой рельефностью граней.

Степень искажения формы в пределах: по осям  $L_2$  и  $L_3$  от 1,3 до 2,00.

Цвет алмазов насыщенный коричневый, темнее 4 Bтп.

Сортируются на два качества: 1/2Q, 3/4Q

### Dark Brown Shapes 1/2Q

Отбираются по цвету и соответствует качеству Sh Top, Sh Spt, Sh Spec.

### Dark Brown Shapes 3/4Q

Соответствует качеству Sh Dk, Sh Blk.

### Black Sawables (Blk Z)

**Качество:** 2, 3BLK; Цвет: 1-3C; CLD; CP; 1-4BRN,

**Качество:** 4BLK; Цвет: 1-3C, GRY, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

Целые кристаллы октаэдрического и додекаэдрического габитуса; правильной формы, с незначительным, небольшим искажением; с большими дефектами.

### 2 Black Sawables (2 BLK Z)

#### **Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением;

плоскогранные, кривогранные;

гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней.

По дефектности отсортированные из позиций STONES и SHAPES, с большими дефектами в виде включений, трещин, каналов травления.

Дефекты: большие включения в периферийной и промежуточной зоне;

небольшие включения в центральной зоне (Рис.3.223 а);

рассеянные включения в сочетании с трещинами от периферийной до промежуточной зоны (Рис.3.223 б).



Рис.3.223 а,б. Алмазы позиции 2 Black Sawables

б)

### 3 Black Sawables (3Blk Z)

#### **Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением;

гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней. Дефекты: большие единичные включения в центральной зоне; глубокие каналы травления до промежуточной зоны; рассеянные включения в объеме кристалла в сочетании с глубокими трещинами в промежуточной зоне (Рис.3.224 а,б).

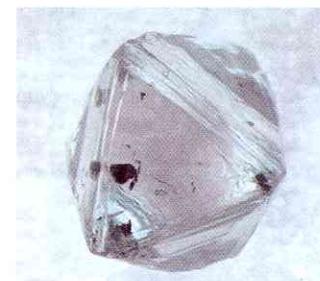


Рис. 3.224 а,б. Алмазы позиции 3 Black Sawables

б)

### 4 Black Sawables (4Blk Z)

#### **Кристаллы:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением;

гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней.

Дефекты: большие включения в различных зонах (Рис.3.225 а); единичные глубокие трещины, доходящие до центральной зоны; дефекты занимают до 1/2 объема кристалла (Рис.3.225 б).

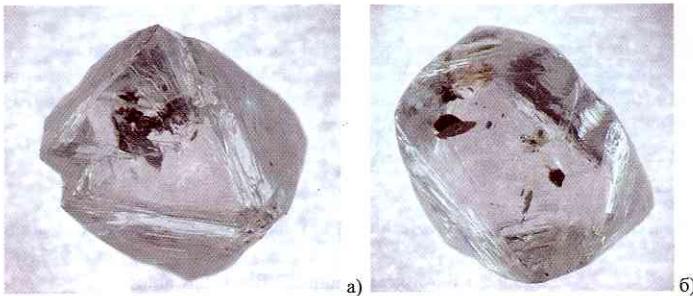


Рис.3.225 а,б. Алмазы позиции 4 Black Sawables

#### Rejection Stones (Rej St)

**Качество: 1-3Q;**

**Цвет:** 1-3C, GRY, CLD, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN.

Целые кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы; с искажением до 2, с многочисленными дефектами во всем объеме кристалла. Отсортировываются по качеству из 4 BLK Z.

#### Rejection Stones1Q

##### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; гладкогранные с незначительной, с небольшой рельефностью граней.

Дефекты: включения в различных зонах, в сочетании с 1-2-мя глубокими секущими трещинами (Рис.3.226 а,б);

небольшие включения по всему объему.

Примечание. Включения и трещины, в сумме занимают от 1/5 до 1/3 объема камня, отсутствует не более 1 вершины.



Рис.3.226 а,б. Алмазы позиции Rejection Stones1Q

#### Rejection Stones2Q

##### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; гладкогранные, с незначительной, с небольшой ступенчатостью.

Дефекты: очень большие включения в различных зонах;

небольшие включения, рассеянные по всему объему кристалла, в сочетании с 2-3-мя глубокими трещинами, секущими кристалл в различных направлениях.

Примечание. Включения и трещины различного размера во всем массиве кристалла со свободной зоной 1/3 объема (Рис.3.227 а,б); 4-5 целых без дефектных вершин.

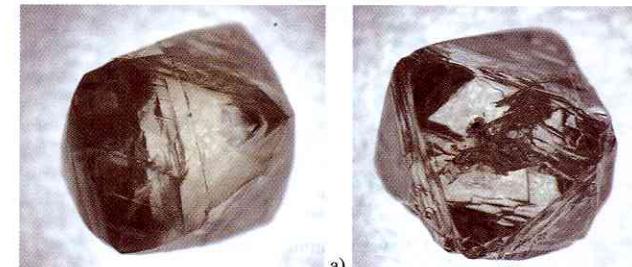


Рис.3.227 а,б. Алмазы позиции Rejection Stones2Q

#### Rejection Stones3Q

##### Кристаллы:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением; гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью.

Дефекты: различные дефекты по всему объему (Рис.3.228 а,б).

Примечание. Свободные от дефектов зоны у вершин.



Рис.3.228 а,б. Алмазы позиции Rejection Stones3Q

#### Dressers (DRESS)

**Качество: 1-5Q;**

**Цвет:** не выделяется.

Кристаллы октаэдрической и додекаэдрической формы;

с различным искажением и рельефностью граней;

с острыми, бездефектными, рабочими вершинами;

используются для правки абразивного инструмента.

Выделяются по цвету из позиций BlkZi ReSt.

#### Dressers 1Q

Кристаллы со всеми острыми, бездефектными вершинами, по дефектности соответствуют позиции 2 Black Zawables.

#### Dressers 2Q

Кристаллы, имеющие 4-5 острых, бездефектных вершин, по дефектности соответствуют позиции 3 Black Zawables и низ качества позиции 2 Black Zawables (Рис.3.229).



Рис.3.229. Алмаз позиции Dressers 2Q

#### Dressers 3Q

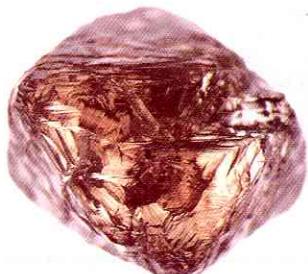
Кристаллы не менее чем с 3-мя бездефектными, рабочими вершинами, по дефектности соответствуют позиции Rejection Stones1Q (Рис.3.230 а,б).



Рис. 3.230 Алмазы позиции Dressers 3Q

#### Dressers 4Q

Кристаллы не менее чем с 2-мя «выраженными» вершинами, по дефектности соответствуют позиции Rejection Stones2Q (Рис.3.231 а,б).



а)

б)

Рис.3.231 а,б. Алмазы позиции Dressers 4Q

#### Dressers 5Q

Кристаллы с единичной вершиной или «острой» кромкой, по дефектности соответствуют позиции Rejection Stones3Q (Рис.3.232 а,б).



а)

б)

Рис.3.232 а,б. Алмазы позиции Dressers 5Q

### Алмазы в оболочке

#### Coated Stones (CTD ST)

Кристаллы в оболочке - по форме и дефектности аналогичные группам STONES и SHAPES.

#### Coated Stones Spotted (Spot)

Соответствует качеству ST Spt, SH Spt (Рис.3.233).



Рис.3.233. Алмаз позиции Coated Stones Spotted

#### Coated Stones Speculative ( Spec)

Соответствует качеству ST Spec, SH Spec (Рис.3.234).



Рис.3.234. Алмаз позиции Coated Stones Speculative

#### Coated StonesDark

Соответствует качеству ST Dark, ST Blk, SH Dark, SH Blk (Рис.3.235 а,б).



Рис.3.235 а,б. Алмазы позиции Coated Stones Dark

#### Coated Sawables (CTD Z)

Кристаллы в оболочке по форме и дефектности соответствуют группам качества BlkZ и RejSt. Сортируются на три качества, по цвету не разделяются.

##### Ctd Z 1Q

Кристаллы в оболочке по форме и дефектности соответствуют позициям 2Q BlkZ, 3Q BlkZ.

##### Ctd Z 2Q

Кристаллы в оболочке по форме и дефектности соответствуют позициям 4Q BlkZ, верх качества RejSt 1Q (Рис.3.136).

##### Ctd Z 3Q

Кристаллы в оболочке по форме и дефектности соответствуют позициям RejSt 1-3Q (Рис.3.187).

### Группа обломков

#### Cleavage(Cl)

Качество:TOP-BLK;

Цвет: EXT, 1-9C

Кристаллы с искажением формы, с различной рельефностью граней, со сколами, обломки кристаллов.

#### CleavageTop

##### Кристаллы и их обломки:

правильные, с незначительным, с небольшим искажением, или искаженные;  
гладкогранные, с незначительной, небольшой рельефностью граней;  
округло-ступенчатые, с большими ступенями на отдельных гранях;  
без дефектов (Рис.3.236 а,б).



Рис.3.236 а,б. Алмазы позиции CleavageTop

#### CleavageSpotted

##### Кристаллы:

с небольшим искажением формы или искаженные;  
округло-ступенчатые;  
с небольшими, единичными включениями в периферийной зоне;  
искаженные, ступенчатые (Рис.3.238 а);  
с механическими сколами параллельными гранями;  
с незначительными, единичными включениями в периферийной зоне.

##### Обломки:

кристаллов правильной формы или искаженных;  
плоскограных, с незначительной, с небольшой ступенчатостью граней;  
с различными сколами (Рис.3.238 б);  
с незначительными, единичными включениями в периферийной зоне.



Рис.3.237 а,б. Алмазы позиции CleavageSpotted

#### CleavageSpeculative (Spec)

##### Кристаллы и обломки кристаллов:

правильной формы или искаженные;  
округло-ступенчатые, со сколами;  
с большими, единичными включениями и трещинами в периферийной и промежуточной зоне (Рис.3.238 а,б).



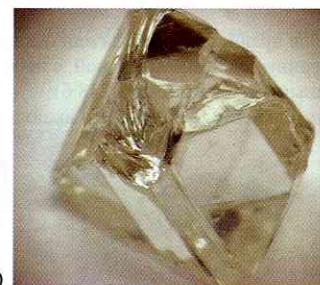
Рис.3.238 а,б. Алмазы позиции CleavageSpec

а) б)

#### Cleavage Dark

##### Кристаллы и обломки кристаллов:

правильной формы или искаженные;  
округло-ступенчатые, с большими сколами;  
с большими включениями в периферийной зоне и незначительными, небольшими включениями в центральной зоне, с вростками и единичными, большими трещинами в промежуточной зоне (Рис.3.239 а-г).



а) б)



в) г)

Рис. 3.239 а-г. Алмазы позиции Cleavage Dark

#### Cleavage Black

##### Кристаллы и их обломки:

правильной формы, с незначительным, небольшим искажением, или искаженные;  
округло-ступенчатые, с большой ступенчатостью, с большими сколами;

с большими, единичными включениями в сочетании с небольшими включениями в различных зонах, но обязательным является локализация дефектов, либо в центральной, либо в периферийной зонах (Рис.3.240 а-г).



а) б)



в) г)

Рис.3.240 а-г. Алмазы позиции Cleavage Black

#### Brown Cleavage (BRN CL)

BROWN CLEAVAGE – группа кристаллов с искажением формы, с различной рельефностью граней, со сколами, обломки кристаллов коричневого цветового ряда. По качеству аналогичные позициям качества CLEAVAGE.

Выделяются четыре группы цвета:

- 1C BROWN CLEAVAGE,
- 2C BROWN CLEAVAGE,
- 3C BROWN CLEAVAGE,
- 4C BROWN CLEAVAGE.

#### Flats (FL)

Качество: Top, Spotted, Spec, Dark, Black

Цвет: Extra col., 1c, 2c, 3c, 4c, 5c, 6c, 7c.

Кристаллы и их обломки, уплощенные, с большим искажением формы, искаженные, кристаллы со сколами.

#### Flats TOP

##### Кристаллы:

с большим искажением формы;  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней, с природными сколами;  
без дефектов.

### Flats Spotted (SPT)

#### Кристаллы:

- с большим искажением формы;
- гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней;
- с природными сколами по спайности;
- с незначительными, трудно находимыми единичными включениями в объеме периферийной или промежуточной зоны.

### Flats Speculative (SPEC)

#### Кристаллы и их обломки:

- с большим искажением формы;
- гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней;
- с различными сколами;
- с единичными, небольшими включениями в объеме периферийной и промежуточной зоны (Рис.3.241 а,б).

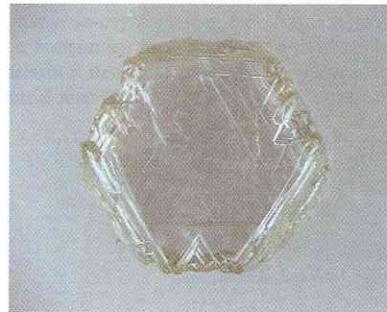


Рис.3.241 а,б. Алмазы позиции Flats Speculative

### Flats Dark (DK)

#### Кристаллы и их обломки:

- с большим искажением формы;
- гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней, ступенчатые;
- с различными сколами;
- с большими, единичными и мелкими рассеянными включениями в разных зонах.

### Maccles (Mac)

Качество: SPT-BLK;

Цвет: EXT, 1-9C

Шпинелевые двойники и их обломки, с различным искажением и рельефностью граней, с дефектами в различных зонах.

Примечание. В этой позиции отсутствует 1Q ввиду того, что для него были предъявлены слишком высокие требования по форме и качеству, что таких форм фактически не обнаруживалось при сортировке. Поэтому данное качество отсутствует.

### MacclesSpotted

#### Шпинелевые двойники:

- правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением формы;
- гладкогранные, с незначительной рельефностью граней,
- с природными, ровными сколами;

с незначительными, единичными включениями в периферийной или промежуточной зонах (Рис.3.242).

Примечание. Степень искажения формы алмаза определяется отношениями (ГОСТ Р51519.1-99) для шпинелевых двойников - длины наибольшего ребра к толщине.



Рис. 3.242 Алмазы позиции MacclesSpotted

### Maccles Speculative (Spec)

#### Шпинелевые двойники:

- правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;
- гладкогранные, с незначительной рельефностью граней;
- сколами по шву двойникования.

Дефекты: небольшие, единичные включения в периферийной или промежуточной зонах (Рис.3.243 а,б);

незначительные трещины в периферийной зоне;

следы срастания в промежуточной зоне.

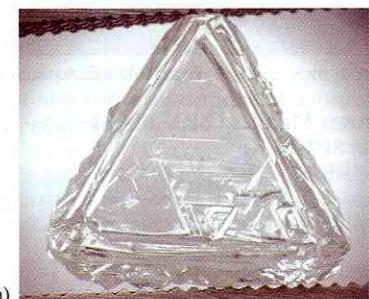


Рис.3.243 а,б. Алмазы позиции MacclesSpeculative

### MacclesDark

#### Шпинелевые двойники и их обломки:

- правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;
- гладкогранные, с незначительной рельефностью граней.

Дефекты: небольшие единичные включения в различных зонах;

следы срастания до центральной зоны (Рис.3.244 а,б.).

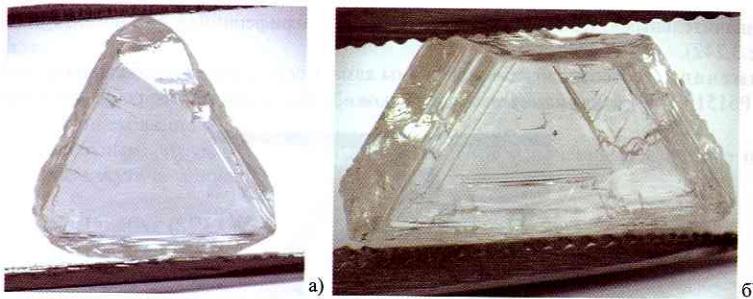


Рис.3.244 а,б. Алмазы позиции MacclesDark

#### MacclesBlack

##### Шпинелевые двойники и их обломки:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные; гладкогранные, с незначительной рельефностью граней.

Дефекты: большие единичные включения в различных зонах (Рис.3.245 а,б); следы срастания до центральной зоны; трещины единичные в поверхностной зоне.

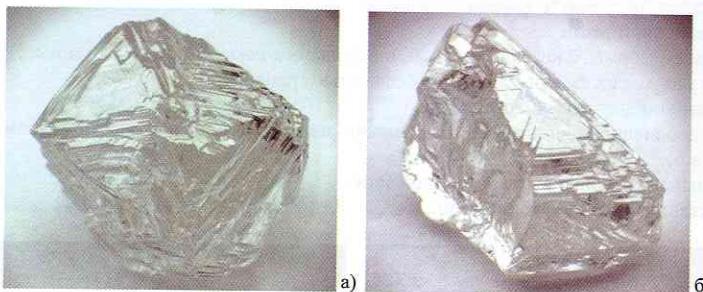


Рис. 3.245 а,б. Алмазы позиции MacclesBlack

#### Brown Maccles (BRN MAC)

Качество: SPT-BLK;

Цвет: 1-4BRN

Шпинелевые двойники и их обломки, с различным искажением и рельефностью граней коричневого цветового ряда. По качеству аналогичные позициям качества MACCELS.

#### Brown Makeables (Brn Mb)

Качество: 1, 2Q;

Цвет: 5, 6BRN

Кристаллы и шпинелевые двойники, и их обломки; с различным искажением и рельефностью граней; коричневые и темно-коричневые.

#### 1Q

Характеристики алмазов 1-го качества позиции Brown Makeables соответствуют характеристикам качества алмазов позиций Cleavage Top, Cleavage Spt, Cleavage Spec, Mac Spt, Mac Spec.

#### 2Q

Характеристики алмазов 2-го качества позиции Brown Makeables соответствуют характеристикам качества алмазов позиций Cleavage Dark, Cleavage Black, Mac Dark, Mac Blk.

#### Makeable Flats (MB FL)

Качество: 1, 2Q;

Цвет: 1 – 3C

Кристаллы и шпинелевые двойники и их обломки; пластинчатой формы, со сколами и различными дефектами.

#### Makeable Flats 1Q

Кристаллы и обломки кристаллов:

пластинчатой формы, гладкогранные, с незначительной рельефностью граней, со сколами по спайности; без дефектов.

Шпинелевые двойники:

с большим искажением, пластинчатые, гладкогранные, с незначительной рельефностью граней, с протомагматическими сколами; без дефектов.

#### Makeable Flats 2Q

Кристаллы и обломки кристаллов:

пластинчатой формы, гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней, с различными сколами;

Дефекты: с небольшими, единичными включениями и незначительными трещинами в периферийной зоне (Рис.3.246а);

Шпинелевые двойники:

с большим искажением формы; гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней, с осколами.

Дефекты: небольшие, единичные включения и незначительные трещины в периферийной зоне (Рис.3.246 б); следы срастания в объеме периферийной зоны.

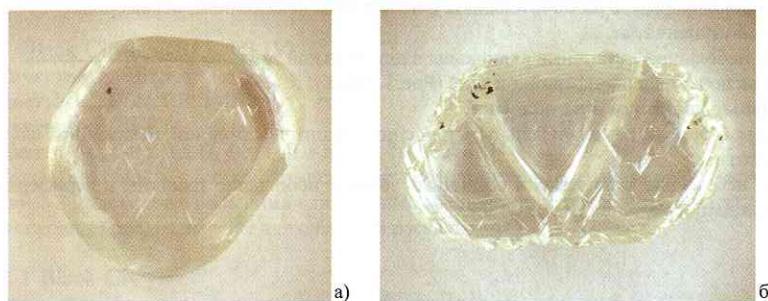


Рис3.246 а,б. Алмазы позиции Makeable Flats

#### Clavage Flats (CLIV FL)

Кристаллы и шпинелевые двойники:

пластинчатые;  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней (Рис 3.247 а),  
с различными сколами;  
с большими дефектами в объеме периферийной зоны.

**Обломки кристаллов (Рис.3.247 б) и шпинелевых двойников:**

с большим искажением;  
гладкогранные, с незначительной, с небольшой рельефностью граней;  
с различными сколами;  
с большими дефектами в объеме периферийной зоны.



Рис. 3.247 а. Алмазы позиции Clivage Flats



б)

**Black Makeable (BLK MB)**

**Качество:** 2Q, 3Q.

**Цвет:** 1-3C, GRY, CLD, CAPE, 1-4BRN, 1/2 BLK BRN, 3/4 BLKBRN

Целые кристаллы с очень большими пластинчатыми прорастаниями, а также шпинелевые двойники и сростки 2-3 кристаллов с дефектами только в виде включений.

Примечание. Для данной позиции характерны дефекты только в виде включений, трещины могут быть незначительные, поверхностные.

Эта позиция качества предназначена для дальнейшей обработки, без операции колки и распиливания.

**2 Black Makeable**

**Кристаллы и их обломки:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;  
округло-ступенчатые.

Дефекты: небольшие единичные включения в центральной зоне;  
большие включения в периферийной зоне (Рис.3.248а).

**Шпинелевые двойники и их обломки:**

правильной формы, с незначительным, или с небольшим искажением, искаженной формы;  
ступенчатые.

Дефекты: небольшие включения в различных зонах и небольшие трещины в периферийной зоне, со следами срастания (Рис.3.248б).



а)



б)

Рис.3.248 а,б. Алмазы позиции 2 Black Makeable

**3 Black Makeable**

**Кристаллы, шпинелевые двойники и их обломки:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;  
с различной рельефностью.

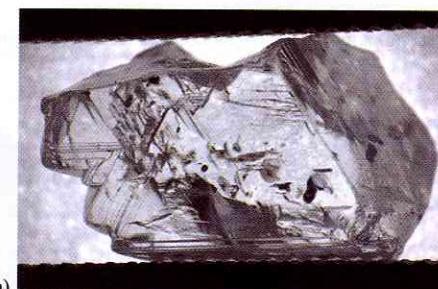
**Дефекты:**

большие единичные включения в различных зонах;  
незначительные трещины в периферийной зоне.

Примечание. Включения более крупные, по всему объему, но не более 2/3 кристалла (Рис.3.249а,б).



а)



б)

Рис.3.249 а,б. Алмазы позиции 3 Black Makeable

**Black Clivage (BLK CLIV)**

**Качество:** 1, 2BLK;

**Цвет:** 1-3C; CLD; CP; 1-4BRN,

**Качество:** 3 BLK;

**Цвет:** 1-3C, GRY, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

Целые кристаллы с резкой ступенчатостью, шпинелевые двойники незакономерные сростки 2-3 индивидов с большими единичными трещинами и каналами травления.

В основном предназначены для операции раскалывания.

**1 Black Clv**

Очень специфическое, и достаточно редко встречающееся, качество. Оно характеризуется одним крупным дефектом в виде секущей трещины, который делит кристалл на 2 чистые части.

**Кристаллы и их обломки:**

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;

с различной рельефностью граней.

#### Шпинелевые двойники:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные; гладкогранные, с незначительной, с небольшой ступенчатостью.

Примечание. Практически не встречаются.

Дефекты: единичные глубокие трещины.

#### 2 Black Clv

##### Кристаллы:

искаженные;  
резкой рельефностью граней;

Дефекты: единичные глубокие трещины, направленные в центральную часть кристалла; единичные большие включения в различных зонах или несколько небольших включений.

##### Обломки кристаллов:

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;  
с различной рельефностью граней;  
с раковистыми сколами.

Дефекты: единичные трещины в промежуточной зоне и большие, единичные включения в различных зонах.

##### Незакономерные сростки из 2-х кристаллов и их обломки:

различной формы;  
с различной рельефностью граней.

Дефекты: только единичные большие включения либо группа небольших.

Примечание. Могут быть бездефектными.

Дефекты должны занимать не более 30% объема кристалла (Рис.3.250 а,б).



Рис. 3.250 а,б. Алмазы позиции 2 Black Clvage

#### 3 Black Clv

##### Кристаллы и их обломки (Рис.3.251 а,б):

различной формы;  
округло-ступенчатые.

Дефекты: 2-3 глубокие, секущие трещины;

большие, единичные включения в различных зонах либо группа небольших.

##### Шпинелевые двойники и кристаллы с двойниковыми прорастаниями (Рис.244 в,г):

правильной формы, с незначительным, с небольшим искажением, искаженные;

с различной рельефностью граней;

Дефекты: единичные трещины в различных зонах, с вростками и следами срастания.

##### Незакономерные сростки и их обломки:

различной формы;  
с различной рельефностью граней.

Дефекты: глубокие единичные трещины.



Рис. 3.251 а-г. Алмазы позиции 3 Black Clvage

#### 4 Black Clivage/Makeable (4 Blk Cliv/Mb)

Объединенное (Blk Mb и Blk Cliv) качество всевозможных форм.

Дефекты занимают не более 3/4 объема кристалла.

##### Кристаллы, шпинелевые двойники и их обломки:

с различным искажением формы,  
с различной рельефностью граней;

с большими и очень большими, единичными включениями в различных зонах и с единичными, глубокими трещинами в различных зонах, с вростками.

Примечание. Участки свободные от дефектов составляют не более 20% объема алмаза (Рис.3.252 а,б).

По цвету сортируются: 1-3C, GRY, CLD, CAPE, 1-4BRN, ½ BLK BRN, ¾ BLKBRN.



Рис.3.252 а,б. Алмазы позиции 4 Black Clivage/Makeable

### Brown Clilage (Brn Cliv)

Качество: одно.

Цвет: 5/6BRN.

Кристаллы, обломки кристаллов, параллельные сростки, шпинелевые двойники; с различным искажением; и рельефностью граней; с большими дефектами; коричневые и темно-коричневые.

Примечание. Характеристики качества алмазов позиции Brown Clilage соответствуют характеристикам качества алмазов позиций Black Clilage и Black Makeable.

### Rejections(Rej)

Качество: 1-3Q;

Цвет: 1-3C, GRY, BLK, CLD, CP, 1-4BRN, 1/2, 3/4BLKBRN

Кристаллы, шпинелевые двойники и незакономерные сростки кристаллов, и их обломки; с различным искажением и рельефностью граней и многочисленными, большими дефектами.

### Rejections 1Q

Кристаллы, шпинелевые двойники и незакономерные сростки кристаллов, и их обломки; с различным искажением и рельефностью граней и многочисленными, большими дефектами

Примечание. Участки («окна») свободные от дефектов расположены по всему объему и составляют не более 20-25% объема алмаза (Рис.3.253 а,б).



Рис.3.253 а,б. Алмазы позиции Rejections 1Q

### Rejections2Q

Примечание. Участки свободные от дефектов составляют менее 20% объема алмаза. Имеются несколько небольших свободных зон (Рис.3.254 а,б).



Рис.3.254 а,б. Алмазы позиции Rejections 2Q

### Rejections3Q

С очень большим количеством дефектов, имеется несколько небольших свободных зон (Рис.3.255 а,б).



Рис.3.255 а,б. Алмазы позиции Rejections 3Q

### Brown Rejections (Brn Rej)

Качество: одно;

Цвет: 5/6BRN (коричневого и темно-коричневого цвета).

Обломки кристаллов, шпинелевые двойники и незакономерные сростки, и их обломки с различным искажением и рельефностью граней с многочисленными, большими дефектами.

Примечание. Характеристики качества алмазов позиции Brown Rejections соответствуют характеристикам 1-го качества алмазов позиции Rejections, и характеристикам группы дефектности алмазов позиции<sup>4th</sup> Black Clilage Makeables.

### Cubes (Cubes)

Качество: не выделяется.

Цвет: не выделяется.

Кристаллы кубической формы (Рис.3.162).

### Алмазы в оболочке

#### Coated Cleavage (CTD CL)

Алмазы в оболочке по форме и дефектности аналогичные группе позиций Cleavage. По качеству сортируются на четыре качества: Top, Spt, Spec, Dark.

#### Coated Cleavege Top

Соответствует качеству CL Top

#### Coated CleavegeSpot

Соответствует качеству CleavegeSpot (Рис.3.256 а,б).



Рис.3.256 а,б. Алмазы позиции Coated CleavegeSpot

### Coated CleavegeSpec

Соответствует качеству CleavegeSpec (Рис.3.257 а,б).

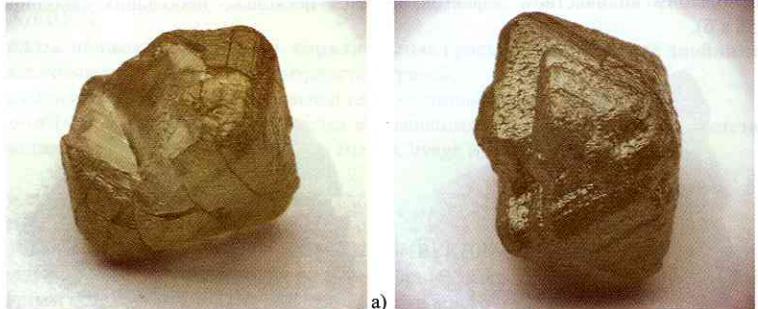


Рис.3.257 а,б. Алмазы позиции Coated CleavegeSpec

### Coated CleavegeDark

Соответствует качеству CleavegeDark (Рис.3.258а,б) и CleavegeBlack (Рис.3.258 в,г).

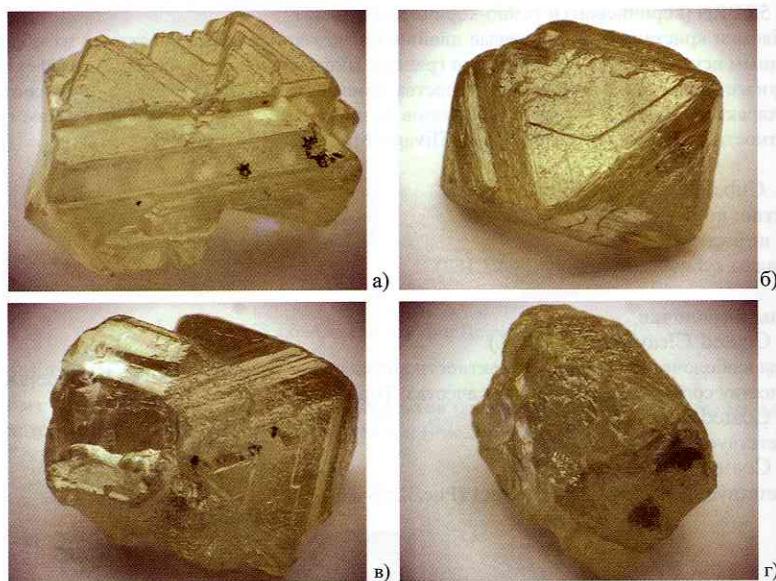


Рис.3.258 Алмаз позиции Coated CleavegeDark

### Coated Clivage (CTD CLIV)

Алмазы в оболочке по форме и дефектности аналогичные группе позиций Maccles, Makeable, Clivage.

По качеству сортируются на три качества: 1Q, 2Q, 3Q.

По цвету не разделяется.

### Coated Clivage 1Q

Соответствует качеству Maccles (Spt, Spec, Dark, Blk) и 1 Blk Cliv.

### Coated Clivage 2Q

Соответствует качеству 2-3BlkCliv, 2-3BlkMb.

### Coated Clivage 3Q

Соответствует качеству 4BlkCliv, верх позиции Rejection 1Q.

### Coated Rejection (CTD REJ)

Алмазы в оболочке по форме и дефектности аналогичные группе позиций Rejection (Рис.3.259 а,б).



Рис.3.259 а,б. Алмазы позиции Coated Rejection

### Boart (Boart)

Качество: 1-3Q;

Цвет: не выделяется.

Кристаллы и их обломки, сростки и их обломки, с очень большим количеством дефектов. Свободных от дефектов участков нет.

### Boart 1Q

Алмазы всевозможных форм с большим количеством дефектов, непрозрачные, слабо пропускающие свет (Рис.3.260 а,б).



Рис.3.260 а,б. Алмазы позиции Boart 1Q

## Boart 2Q

### Сростки и обломки сростков:

с большими включениями и трещинами, как правило, черные, не просвечивающие (Рис.3.261 а,б).



Рис.3.261а,б. Алмазы позиции Boart 2Q

## Boart 3Q

Мелкозернистые массы, без явного "алмазного" блеска (Рис.3.262 а,б).



Рис.3.262 а,б. Алмазы позиции Boart 3Q

## Глава IV . Оценка ограненных алмазов

После завершения процесса сортировки алмазов, переходят к огранке. Наиболее распространенное название ограненного алмаза – бриллиант. Строго говоря, в соответствии с правилами Международной Конференции по ювелирным камням, изделиям из серебра, алмазам и жемчугу СИВЮ, бриллиантом может называться только ограненный алмаз, имеющий круглую форму и бриллиантовый тип огранки [11]. Классической и основной формой во всем мире признается круглая, а все остальные, отличные от нее называются фантазийными. Детально описывая огранку вводят такие понятия, как форма и тип огранки.

Форма бриллианта определяется по контуру рундиста при просмотре бриллианта сверху (с плоскадки).

Тип огранки - характером расположения граней и их формой (треугольник, ромб, трапеция).

Рассматривая ограненный алмаз как драгоценный камень, его оценку проводят на основании четырех классификационных признаков. Этими признаками являются масса, цвет, чистота и качество огранки. Каждый из этих признаков, за исключением массы в каратах, определяется экспертами в определенных условиях наблюдения с использованием геммологического оборудования. При этом имеет место некоторая субъективность этих оценок, зависящая как от окружающих условий измерений, так и квалификации экспертов.

Точная и качественная оценка ограненного алмаза может быть проведена только в лабораториях, которые выдают специальный документ – Сертификат. Сертификат гарантирует подлинность приобретаемого бриллианта с описанием классификационных признаков, исключая тем самым момент субъективности.

Покупка бриллианта – это событие неординарное. Каждый бриллиант имеет своё собственное лицо и представляет собой уникальное произведение искусства, выполненное природой и руками мастера.

Ювелирные изделия с бриллиантами, относятся к категории специфических товаров. Приобретая ювелирные изделия, покупатель вкладывает средства, поэтому его желание чувствовать себя защищенным вполне естественно, а сделки с сертифицированными ограненными драгоценными камнями дают такую гарантию.

Методики оценки качества, привлекательности, красоты бриллианта постоянно совершенствуются. Развивается рынок новых форм и типов огранок, которые, в отличие от классической круглой бриллиантовой огранки, могут иметь несколько иные параметры. Поэтому для более точной их оценки введен дополнительный пятый фактор – коэффициент красоты блеска бриллианта, определяемый с помощью прибора Scharf ("Шарм"). Принцип работы прибора в значительной мере подобен особенностям восприятия игры блеска человеческим глазом. Измеряемый коэффициент учитывает влияние всех параметров, которые оказывают влияние на игру и блеск бриллианта и могут быть заметны невооруженным глазом: цвет, наличие в камне внутренних дефектов, ошибки в огранке. Разработали этот прибор технологии Смоленского ограночного предприятия.

Классификационные признаки определяют стоимость ограненного алмаза. При торговле бриллиантами пользуются базовыми прейскурантами. За основу для прейскурантов принимается цена одного карата ограненного алмаза круглой формы бриллиантового типа огранки. В зависимости от цвета, чистоты, массы и качества огранки определяется цена конкретного ограненного алмаза.

В России действует оптовый прейскурант «Отпускные цены на бриллианты», утвержденный Минфином по согласованию с Минэкономики. Цены прейскуранта являются минимальными. За границей популярен ценовой индикатор Рапопорта. Это не прейскурант. В нем отражены максимальные цены по продажам ограненных алмазов за некоторый период времени.

Как правильно аттестовать и оценить огранённый алмаз рассматривается в данном разделе.

#### 4.1. Классификационные признаки

##### 4.1.1. Первый классификационный признак – масса

Во всём мире в качестве единицы измерения массы бриллиантов в настоящее время применяется карат (общепринятые сокращения – кар, ct). В начале XX века карат стал единицей метрической системы. Один метрический карат равен 200 мг. В международной практике используют два вида классификации бриллиантов по массе: количественный и весовой. В основу первой положено количество камней в одном карате (например: 100, 50, 25 шт/кар), второй – масса камня в каратах в десятичном исчислении (0,01; 0,05; 0,10; 0,50; 1,00 кар). Все бриллианты условно делятся по массе на мелкие (до 0,29), средние (от 0,30 до 0,99) и крупные – свыше одного карата. Масса бриллиантов определяется в каратах на специальных электронных весах (типа Sartorius), точность которых должна обеспечивать определение до тысячных долей карата. При этом придерживаются правила округления, когда округлить третий знак в большую сторону можно, только если он равен «9» (например: 0.159кар. $\approx$  0.16кар., а 0.158кар. $\approx$  0.15кар).

Если камень находится в оправе, и взвесить его не представляется возможным, масса определяется по формулам в соответствии с формой огранки бриллианта.

##### 4.1.2. Второй классификационный признак – чистота

Чистота бриллианта – это относительное отсутствие или наличие у бриллианта характеристики чистоты, которыми являются включения и поверхностные дефекты. Характеристики чистоты придают каждому бриллианту уникальность. Практически невозможно, чтобы у двух бриллиантов были абсолютно одинаковые характеристики и к тому же одинаково расположенные. Благодаря этому, всегда возможна, при необходимости, точная идентификация каждого конкретного бриллианта в отдельности. Поэтому в сертификат всегда включают рисунок – схему расположения характеристик чистоты бриллианта. Обычно рисунок составляют на схемах (в зависимости от формы и типа огранки), отражающих корону и павильон бриллианта. Принцип следующий: все включения, которые возможно увидеть через корону бриллианта, наносят на схему короны (за исключением тех, которые можно увидеть только через павильон бриллианта, – их наносят на схему павильона). Все поверхностные дефекты наносят на схемы короны или павильона в зависимости от того, чью целостность они нарушают. Например, скол в павильоне бриллианта наносят на схему павильона. Каждое включение, и поверхностный дефект имеет свой цвет и условное обозначение. Обычно внутренние дефекты наносят красным цветом, поверхностные зелёным. Существуют и такие дефекты, которые наносят сразу двумя цветами, одновременно и зелёным и красным.

Для оценки чистоты различные геммологические институты и лаборатории используют различные шкалы. При классификации бриллианта по чистоте обнаруживаются не только природные внутренние и внешние дефекты, но и пороки, возникшие в процессе обработки камня, устранение которых экономически не эффективно.

Оцениваются бриллианты по чистоте путем их просмотра через лупу десятикратного увеличения, не имеющую хроматическую и сферическую аберрации, или геммологический микроскоп (рис. 4.1).

Особое внимание при оценке необходимо обращать на бриллианты высоких групп чистоты. Эти группы тщательно просматривают на наличие в них внутренних дефектов и пороков обработки. В них не допускаются видимые следы шлифования, пористость рундиста, мелкие сколы.



Рис. 4.1. Геммологический микроскоп

Критериями при определении чистоты являются:

- размер и количество дефектов;
- возможность распознавания дефектов с использованием увеличения или без увеличения, с трудом или без труда;
- тип дефекта (точечное, рассеянное, плоское, компактное);
- цвет включений и их контрастность (яркие, темные, бесцветные или окрашенные);
- природа дефекта (кристаллическое минеральное включение, трещина);
- месторасположение дефекта;
- влияние включения на блеск, игру и прочность камня.

Многообразие различных видов дефектов придает каждому бриллианту индивидуальность. В природе не существует двух абсолютно одинаковых драгоценных камней, которые имели бы практически одинаковые дефекты. Некоторые минералы, встречающиеся в виде включений в алмазе, свидетельствуют об истинно природном происхождении данного камня. Поэтому различные характеристики чистоты являются и идентификационными признаками природного алмаза.

#### Внутренние дефекты

##### 1. Кристаллические минеральные включения (рис. 4.2-4.4).

Иногда в кристаллах алмаза наблюдаются белые облакообразные скопления. В действительности, при очень большом увеличении, такие «белые облака» представляют собой скопления микроскопических включений. Облака могут иметь различные очертания, или выглядят как белесые или сероватые клочья, или как мелкие пятнышки. Иногда они ограничены небольшой площадью внутри камня, а иногда распространены по всему объёму. В некоторых случаях они имеют плотный вид и выглядят похожими на густой туман. В этом случае они снижают прозрачность бриллианта и, как следствие, его блеск и игру.

##### 2. Облако (рис. 4.5)

##### 3. Трещина (или «перо») (рис. 4.6, 4.7)

Различают два типа трещин:

- трещины по спайности, проходящие параллельно плоскости октаэдра. Они имеют ровный излом;
- трещины разлома – это трещины, идущие по направлениям, не отвечающим плоскостям спайности.



Рис. 4.2. Многократные отражения включения



Рис. 4.3. Включение сульфидов в бриллианте

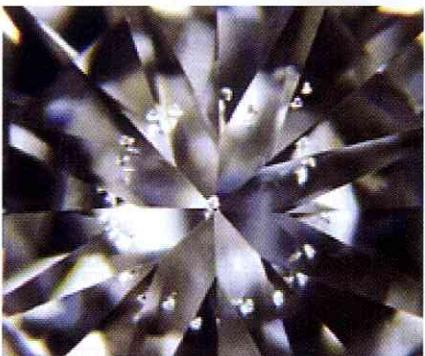


Рис. 4.4. Многочисленные отражения оливинов

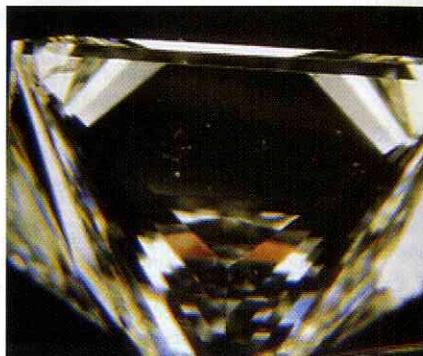


Рис. 4.5. Облако.

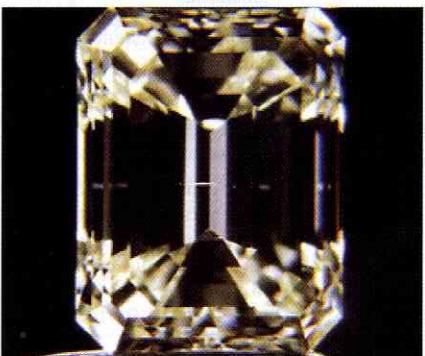


Рис. 4.6. Отражение трещины в бриллианте.

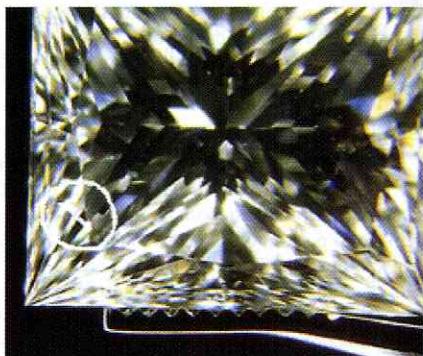


Рис. 4.7. «Перо» в бриллианте

Также существуют трещины напряжения, они возникают вокруг включений вследствие различных коэффициентов теплового расширения минералов – включений. Эти виды трещин называются «перьями», которые при просмотре перпендикулярно плоскости трещин кажутся белыми и напоминают по форме перо.

Трещины могут выходить на поверхность камня, в этом случае возникает повышенная опасность возникновения сколов по этой трещине. Некоторые трещины столь малы и неглубоки, что на первый взгляд кажутся обычными царапинами.

#### 4. Игла

Это кристаллическое удлинённое, иглоподобное включение, похожее на маленький стержень.

#### 5. Точечное включение (рис. 4.8)

Это очень мелкое включение, при 10-кратном увеличении выглядит как крошечная точка.

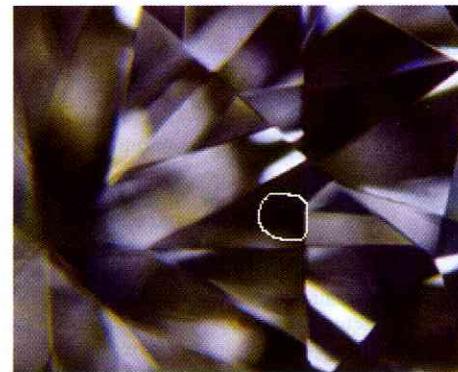


Рис. 4.8. Точечное включение под площадкой

#### 6. Сучок

Включение алмаза в бриллианте, который вышел на его поверхность после процесса полировки и выглядит как приподнятый участок на любой из граней. В отражённом свете можно увидеть его очертания и отличную от самой грани текстуру поверхности. Иногда возле него образуются следы подгара.

#### 7. Микротрещины по рундисту

Часто трещины по спайности, располагающиеся вдоль рундиста, образуют собой сеть мелких трещинок. Этот дефект является своего рода производственным дефектом и называется «бородатым» рундистом. Трещинки проникают в камень от поверхности рундиста. Если таких трещинок, расположенных по периметру камня только несколько, то «борода» расценивается как небольшая, в то время, как «выраженная» борода выглядит как ворсистая серая кайма.

#### 8. Полость

Полостями называются углубления природного происхождения, т.е. любые отрицательные участки огранённого камня. Как правило, они располагаются на павильоне и не видны со стороны площадки, но могут быть крупными и заметными. В основном их появление обусловлено первоначальным наличием включения кристалла, сошлифованного в процессе огранки и оставившим на своём месте отрицательный участок.

Теоретически полости могут быть устранины переогранкой, но это иногда влечёт за собой значительную потерю веса, и огранщики их не трогают.

#### 9. Выкол

Выкол на поверхности камня возникает вследствие удара (механическое повреждение), имеет белёсый вид и квадратные или шестиугольные очертания, и варьирует в размере от мельчайшего до достаточно большого.

#### 10. Скол

Сколы обычно расположены вдоль края рундиста, являясь видом механического повреждения в процессе огранки, хранения или носки. Также они могут возникать вдоль выхода трещин на поверхности. Сколы могут быть весьма большими и глубокими.

## 11. Углублённая естественная грань

Углублённая естественная грань – это естественная грань, расположенная несколько ниже поверхности огранённого камня. Она часто напоминает полость и имеет такое же влияние на чистоту камня.

## 12. Двойниковые швы

Двойниковые швы образуются в результате двойникования. Двойникование алмаза происходит по шинелевому закону. Плоскость двойникования параллельна плоскости октаэдра (111). Видимый след этой плоскости называется двойниковым швом.

## Поверхностные дефекты

### 1. Абрация

Абрация встречается на ребрах. Как правило она возникает в результате неправильного хранения ювелирных изделий или камней, при котором образуется множество мельчайших выколод по рёбрам. Ребра приобретают белёсый и нечёткий вид (в то время как должны быть чёткими и острыми).

### 2. Дополнительная грань (экстрафацета)

Это грань, не предусмотренная симметрией и видом огранки. В отличие от естественной грани (найфа), экстрафацета имеет гладкую поверхность, и четко очерчена. Дополнительные грани могут располагаться на любом участке поверхности бриллианта, но в большинстве случаев они расположены около рундиста. Они не расцениваются как внешние дефекты, если местом их расположения является павильон и их нельзя увидеть со стороны площадки, при увеличении 10x. Не следует путать экстрафацеты с естественными гранями.

### 3. Естественная (натуральная) грань (найф)

Это участок природной (необработанной) поверхности кристалла алмаза, оставленный на уже огранённом камне. Иногда на них присутствуют следы роста кристалла. Характерной формой рельефа октаэдрических граней является выступ в виде усечённых трёхгранных пирамид. Эти пирамиды могут выступать над поверхностью грани, или, наоборот, образуют углубления.

Глубоко углублённые естественные грани иногда выглядят как полость. Как правило, найфы располагаются около рундиста. Иногда их бывает два (диаметрально расположенные друг напротив друга) или четыре. Если они расположены у рундиста и при этом не утолшают его и не искашуют его контур, они не расцениваются как внешние дефекты. Они оставляются огранщиком с целью получить максимально возможную массу бриллианта из исходного кристалла, их можно расценивать как свидетельство эффективной работы огранщика.

### 4. Выкол по ребру

Им называется очень маленькая выемка на рундисте или рёбрах.

### 5. Ямка

Это крошечные углубления на поверхности граней; под увеличением они обычно выглядят, как белые точки. Их легче заметить в отражённом свете.

### 6. Линии полировки

Так называются тончайшие параллельные линии, возникшие при полировке: тонкие параллельные линии в пределах одной грани связанные с анизотропией твёрдости, или же на ровной поверхностью ограночного диска.

Как правило, линии полировки менее заметны, чем царапины.

### 7. След подгара

По внешнему виду напоминает «облачность» на поверхности грани, возникающая в следствие изменения температуры нагрева при полировке.

### 8. Шероховатый рундист

Рундист хорошего качества - гладкий и матовый, его текстура похожа на поверхность матового стекла. Шероховатый рундист имеет зернистую поверхность. Очень грубый рундист имеет также небольшие сколы. В ювелирных изделиях камни с таким рундистом быст-

ро притягивают грязь и жир и становятся грязно-сероватыми, что придаёт им неряшливый вид. Как правило, такой рундист имеют камни с низким качеством огранки.

### 9. Царапина

Это неглубокое линейное углубление, похожее на белую линию, искривлённую или прямую. Белёсость её более выражена при просмотре в тёмном поле.

### 10. Линии скольжения, выходящие на поверхность

Линии скольжения наблюдаются в виде параллельных линий на поверхности бриллиантов, претерпевших пластическую деформацию.

Такие линии могут напоминать слабые линии полировки. Удаление линий скольжения посредством переполировки невозможно.

### 4.1.3. Третий классификационный признак – цвет

Бриллианты могут быть бесцветными или иметь оттенки или окраску. Их можно разделить на две основные группы: группа обычных цветов включает бесцветные, желтые, коричневые, серые цвета и группу бриллиантов уникальных, редких (или фантазийных) цветов.

Шкала оценки цвета бриллиантов составляется в зависимости от насыщенности оттенков или цветов. Человеческий глаз, к сожалению, не обладает цветовой памятью, поэтому для более качественной оценки цвета, используют камни-эталоны или специальные приборы.

Наиболее важным при оценке цвета является:

- правильное освещение: оптимально производить оценку цвета в затемненной комнате, используя специальный источник света, эквивалентный дневному северному свету (с характеристикой лампы D 65);

- положение бриллианта: бриллиант, подлежащий оценке располагается шилом вверх на сложенной полоске стандартной белой бумаги таким образом, чтобы взгляд оценщика был направлен перпендикулярно граням павильона.

Цвет бриллианта лучше просматривать в двух направлениях: перпендикулярно граням павильона и параллельно плоскости рундиста.

Бриллианты - эталоны должны отвечать следующим требованиям:

1. По массе: изготавливаются для мелких, средних и крупных бриллиантов.

2. По группам чистоты: не должны иметь дефекты, влияющие на окраску бриллиантов.

3. По качеству огранки: не должны иметь отклонения по параметрам. По возможности, они должны иметь очень тонкий равномерный рундист. В верхней части бриллианта (короне) специально наносятся две дополнительные грани – отличительный признак камня - эта-лона от других бриллиантов или наносится соответствующая лазерная отметка на рундисте.

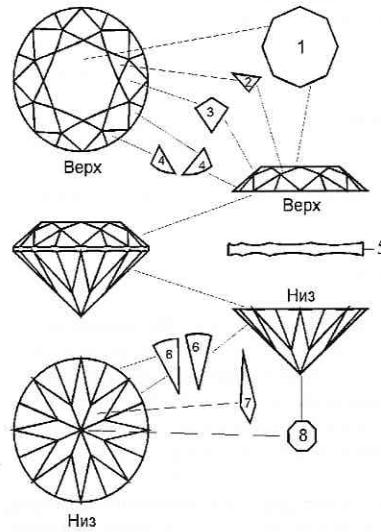
4. Бриллианты - эталоны должны строго соответствовать либо началу, либо концу цветового отрезка в каждой из групп цвета.

Для достижения единой и точной оценки цвета применяются также приборы: диамантофотометр, электронный колориметр, прибор объективной классификации бриллиантов по цвету «Бриллиант - 1» и другие.

### 4.1.4. Четвёртый классификационный признак – огранка

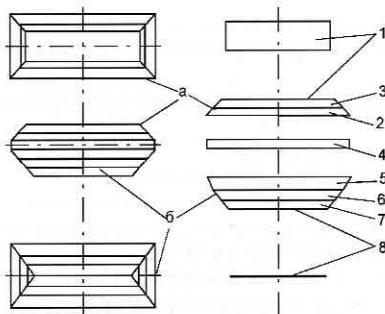
Огранка бриллианта – это довольно емкое понятие. Под огранкой бриллианта понимают форму, тип огранки, пропорции, симметрию и качество полированной поверхности элементов огранки. Под пропорциями бриллианта, в первую очередь, понимают углы наклона граней верха и граней низа бриллианта относительно плоскости рундиста, их соответствующие размеры и соотношения между ними. Как уже упоминалось выше, форма определяется по контуру рундиста ограненного алмаза. Тип огранки – это характер расположения граней и их форма [4].

Основными элементами являются размер площадки, углы короны и павильона, толщина рундиста.



При огранке алмазов наибольшее распространение получили два типа огранок – бриллиантовая (рис. 4.9) и ступенчатая (рис. 4.10).

При бриллиантовой огранке грани смежных ярусов располагаются в шахматном порядке. Форма граней – ромб (грани короны и павильона), треугольник (клины короны и павильона). Площадка имеет форму правильного многоугольника.



При ступенчатой огранке грани смежных ярусов располагаются на поверхности ограненного кристалла один над другим.

Форма граней – трапеция, равнобедренный треугольник. Площадка имеет форму многоугольника с острыми или срезанными углами.

Границы павильона могут сходиться в точку (шип), могут сходиться в ребро (киль).

Рис. 4.10. Элементы ступенчатой огранки.  
а) вид короны в плане; б) вид павильона в плане.  
1. Площадка; 4. Рундист; 5, 6, 7. Яруса павильона;  
2, 3. Яруса короны; 8. Киль.

Классической и основной формой бриллиантовой огранки признается круглая. Но существуют и другие, отличные от нее, называемые фантазийными формами. Наиболее распространеными являются: овал, маркиз, груша, сердце, принцесса (рис. 4.11).

“Принцесса” (рис. 4.12) – квадратная или прямоугольная – была разработана в конце 1970-х годов. Принцесса превосходит круглую огранку по выходу годного, сохраняя около 80% сырья. Бриллианты огранки принцесса популярны в ювелирных украшениях, так как они подходят для канальной или невидимой закрепки, плотно соприкасаясь, друг с другом, тогда как между круглыми камнями неизбежно останутся промежутки.

Огранка “Радиант”, запатентованная в конце 1970-х Генри Кросбадом, является квадратной или прямоугольной смешанной огранкой со срезанными углами. Форма камня и грани бриллиантового типа делают ее сверкающей. Радиант позволяет сохранить около 60% веса сырья. Этую огранку можно использовать для того, чтобы сконцентрировать цвет, переводя камень в категорию фантазийных цветных алмазов.

Очертания бриллианта формы “Груши” (рис. 4.11) – округлые с одной стороны и сужающиеся в точку с другой. Блеск груши почти также силен, как и у круглой формы, а кроме того, это привлекательное отступление от круглой формы.

“Овал” – бриллиантовая огранка эллиптического контура (рис. 4.11).

“Маркиз” (рис. 4.11) – удлиненная эллиптическая бриллиантовая огранка с округлыми сторонами и заостренными концами. Маркиз приобрел популярность в 70-е гг., особенно в свадебных изделиях.

“Сердце” (рис. 4.11) – бриллиантовая огранка сердцевидной формы.

Наиболее популярная ступенчатая огранка – прямоугольная со срезанными углами – “Изумруд” (рис. 4.11).

“Багет” – небольшой 4-сторонний алмаз ступенчатой огранки. Багет может иметь параллельные или клиновидно сужающиеся стороны.

Существуют и некоторые другие ступенчатые огранки, например ромбической и треугольной форм.

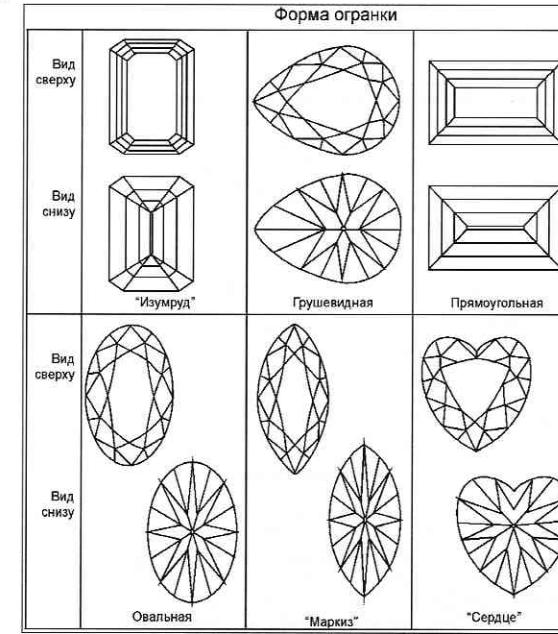


Рис. 4.11. Фантазийные формы бриллиантов.

При огранке алмазов иногда используют два типа огранок вместе.

Смешанная огранка – когда корона ограненного алмаза имеет бриллиантовый или ступенчатый тип, а его павильон наоборот.

Модифицированная огранка – сочетание одновременно в короне и павильоне бриллиантового и ступенчатого типа. Наиболее известной модифицированной огранкой является принцесса (рис. 4.12).

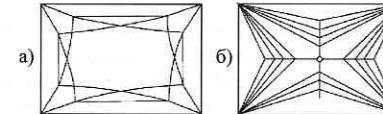


Рис. 4.12. Принцесса – вид в плане: а) корона б) павильон

Приобретая бриллианты, любой покупатель выбирает его, безусловно, исходя из того, что это – бриллиант, но при этом он обращает внимание и на его такие характеристики, как

“блеск” и “игра”, а на эти характеристики напрямую влияет качество огранки. Пропорции элементов огранки являются определяющим фактором блеска и игры.

Для внешнего вида бриллианта важен каждый элемент, т.к. все они связаны с прохождением света в бриллианте: будет ли он пропущен, отражен, искажен, возвращен, рассеян и т.д.

Границы короны, например, собирают свет, в результате чего появляются цветные вспышки, которые мы наблюдаем через боковые грани короны; грани павильона собирают свет для возврата его обратно в корону; свет, отражаясь от поверхности любой из граней, придает бриллианту блеск; состояние поверхности рундиста позволяет либо пропустить, либо уменьшить дополнительный объем света, проходящего в бриллиант, кроме того он отвечает за прочность и сохранность бриллианта при его закреплении в изделие.

Основные пропорции ограненного алмаза рассмотрим на примере классического круглого бриллианта (рис. 4.13).

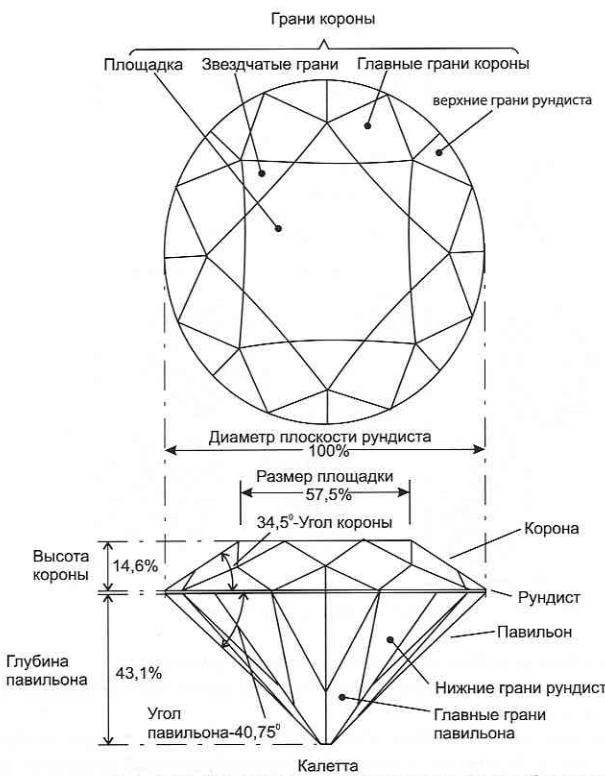


Рис. 4.13. Основные элементы и пропорции бриллианта.

Основными пропорциями являются:

- размер площадки в процентах от диаметра по рундисту;
- толщина рундиста в процентах от диаметра по рундисту;
- угол наклона граней короны и павильона к плоскости рундиста;
- размер калетты в процентах от диаметра плоскости рундиста.

На протяжении многих лет ученые во всем мире пытались решить проблему рациональных пропорций бриллианта. Оптимальную геометрию круглого бриллианта, которая обеспечивает наивысшую степень игры и блеска бриллианта, рассчитал М. Толковский. В каждой стране существуют свои, несколько отличающиеся от остальных, критерии оценки пропор-

ций и финишной обработки бриллиантов, но до сих пор, во всем мире, форму огранки, предложенную Толковским, считают идеальной формой огранки, а бриллиант круглой формы, ограниченный по параметрам идеальной огранки, - классическим.

Основные параметры идеальной огранки по М. Толковскому (% - от среднего диаметра плоскости рундиста):

Размер площадки - 53%;  
Угол наклона короны - 34,5°;  
Угол наклона павильона - 40,7°;  
Толщина рундиста - 1,5%;  
Высота короны - 16,2%;  
Высота павильона - 43,1%;  
Высота бриллианта - 60,3%;

Не допускаются также любые отклонения в симметрии и качестве полированной поверхности бриллиантов.

Определив пропорции бриллианта, далее обычно рассматривается насколько симметрично выполнена сама огранка – т.е. нет ли некоторых смещений и отклонений элементов огранки от воображаемой центральной оси бриллианта и на самих главных его частях – короны, павильона и рундиста. Ниже приведены примеры возможных отклонений симметрии бриллианта (рис. 4.14).

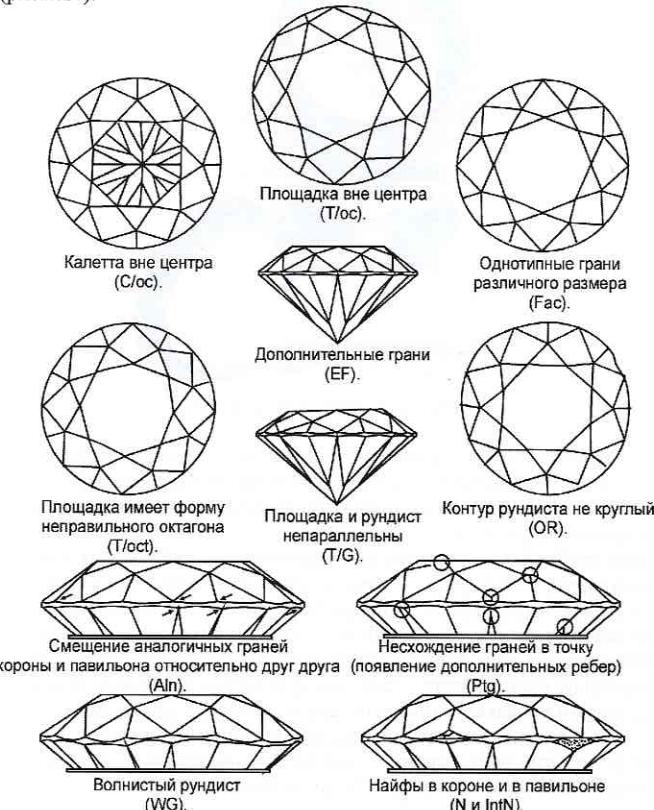


Рис. 4.14. Возможные отклонения в симметрии огранки бриллиантов

Завершают оценку огранки определением качества полированной поверхности бриллианта. Эксперт для этого обычно ищет характеристики, которые могут снижать блеск, который представляет собой отражение света от поверхности – т.е. возможные царапины, потерю граней и ребер, подгар поверхности, крошечного размера сколы и углубления и т. д.

Для точной и быстрой оценки элементов огранки существует множество различного вида пропорционоскопов и их модификаций – приборов, измеряющих пропорции бриллиантов. Но пропорционоскоп – это оборудование, которое относится к разряду обязательных при оснащении ограночных предприятий и сертификационных лабораторий. Обеспечивая точность результатов, он имеет довольно высокую стоимость, поэтому в обычных условиях – вне вышеперечисленных предприятий – обычно рекомендуется использовать визуальную методику определения пропорций, которая также имеет высокую точность определения параметров огранки бриллианта, но не требует дорогостоящего оборудования. По сравнению с пропорционоскопом, визуальная методика имеет некоторую неточность, но, как показывает практика, ошибка эта зависит во многом только от опыта эксперта, внимательности и тщательности, с которой он выполняет всю работу (рис. 4.15).

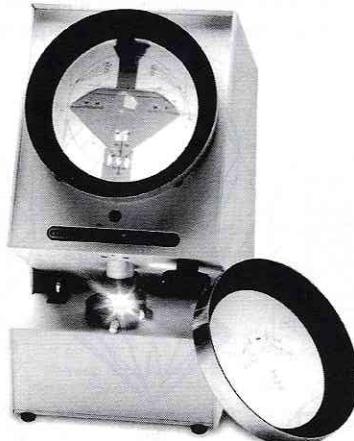


Рис. 4.15. Пропорционоскоп

Для того, чтобы можно было сравнить элементы друг с другом, чтобы понять, насколько они отличаются на разных камнях и каково их влияние на блеск и игру, углы определяют в градусах, размеры граней и остальных элементов в процентах от среднего диаметра бриллианта, который принимается за 100 %.

Под разными источниками света и под разными углами наблюдения один и тот же бриллиант может выглядеть по-разному, поэтому во избежание дополнительных ошибок, используются те же самые стандартные условия наблюдения и оборудование, что и для определения чистоты и цвета бриллиантов. Ими являются стандартная геммологическая лампа, стандартная геммологическая лупа-триплет 10-ти кратного увеличения, положение бриллианта в пинцете относительно глаз эксперта – либо короной вверх, либо короной вниз, но обязательно перпендикулярно площадке и в профиль перпендикулярно рундисту.

Таким образом, рассмотрев четыре классификационных признака оценки ограненных алмазов – массу, чистоту, цвет, огранку, опишем аттестацию их по Техническим Условиям (ТУ) России и по GIA (Геммологический Институт Америки).

#### 4.2. Особенности оценки бриллиантов в России (ТУ 117-4.2099-2002)

Первые бриллианты в Россию стали поступать в XVI веке в виде подарков царскому двору или покупок за рубежом, поскольку открытых отечественных месторождений алмазов к тому времени обнаружено не было. Промышленная огранка драгоценных камней начала практиковаться при Петре I. В 1725 году он основал в Петергофе «Алмазную мельницу» для обработки драгоценных и поделочных камней. Здесь же гравились алмазы. Обработка драгоценных камней велась в ограниченном масштабе. Основные поставки бриллиантов осуществлялись из Берлина, Лондона и Парижа оптовыми торговцами.

Только в XX веке, после открытия коренных отечественных алмазных месторождений, в 1963 году былпущен первый гравильный завод в Смоленске. Первоначально бриллианты были невысокого качества огранки, но через несколько лет благодаря жестким государственным стандартам и строгому руководству отраслью качество камня улучшилось. Высококачественные российские бриллианты пользуются повышенным спросом на мировом рынке. Первые Технические Условия для оценки отечественных бриллиантов были разработаны в начале 60х годов XX века. Эти Технические Условия резко отличались от международных систем оценки бриллиантов. Так, к первой группе чистоты были отнесены бриллианты с очень большими дефектами, видимыми невооруженным глазом, а по цвету – первая группа включала бриллианты коричневого оттенка. Успешное развитие производства бриллиантов позволило в 1976 году принять участие российским экспертам в Международном Совещании по оценке бриллиантов. На этом совещании были согласованы понятия по оценке бриллиантов по чистоте и цвету. Классификации по чистоте должны начинаться от самого бесспорочного, бездефектного бриллианта, а по цвету от бесцветного.

С 1977 года по 2002 год действовали Технические Условия, в которые были внесены изменения в классификациях по чистоте и цвету в соответствии с международными правилами. Созданию следующих технических условий послужило начало деятельности совместных и частных предприятий. Технические Условия на бриллианты 117-4.2099-2002, наиболее точно согласовывают разные системы оценки бриллиантов, но при этом сохраняют специфические отличия при аттестации массы, чистоты, цвета и оценки качества огранки.

В основу Технических Условий России (ТУ 117-4.2099-2002) положены четыре классификационных признака оценки бриллиантов [8]: масса, чистота, цвет, качество огранки.

Пример условного обозначения бриллианта круглого пятидесятисемигранного массой 0,51 карат 1 группы цвета и 3 группы чистоты, группы геометрических параметров – «А»: Кр-57-0,51-1/3А

##### Масса

По размерно-весовым группам бриллианты подразделяются на группы:

- мелкие (до 0,29 карата включительно) (табл. 4.1, 4.2);
- средние (от 0,30 до 0,99 карата включительно);
- крупные (от 1,00 карата и более).

Таблица 4.1. Размерность мелких круглых бриллиантов формы огранки Кр-17.

Размерность, штук/карат	№ сита	Масса бриллианта, карат
200-400	-	Менее 0,005
120-200	0	0,005-0,007
90-120	2,5	0,008-0,009
60-90	3,5	0,010-0,013
40-60	5,5	0,014-0,019
30-40	6,5	0,020-0,024
25-30	7,5	0,025-0,040

Таблица 4.2. Размерность мелких бриллиантов форм огранки Кр-57 и фантазийных.

Размерность, штук/карат	№ сита	Масса бриллианта, карат
200-400	-	менее 0,005
120-200	0	0,005-0,007
90-120	2,5	0,008-0,009
60-90	3,5	0,010-0,014
40-60	5,5	0,015-0,024
30-40	6,5	0,025-0,029
25-30	7,5	0,030-0,039
20-25	8,5	0,040-0,049
15-20	9,5	0,050-0,069
10-15	10,5	0,070-0,099
7-10	12,5	0,100-0,139
6-7	14,5	0,140-0,169
5-6	15,5	0,170-0,199
4-5	16,5	0,200-0,249
3,4-4	18,5	0,250-0,299

Средние бриллианты подразделяются на следующие подгруппы по массе:

0,30 - 0,39 карат; 0,40 - 0,49 карат; 0,50 - 0,59 карат; 0,60 - 0,69 карат; 0,70 - 0,79 карат; 0,80 - 0,89 карат; 0,90 - 0,99 карат.

Крупные бриллианты подразделяются на следующие подгруппы по массе в каратах:

1,00 - 1,24	2,75 - 2,99	4,50 - 4,74
1,25 - 1,49	3,00 - 3,24	4,75 - 4,99
1,50 - 1,74	3,25 - 3,49	5,00 - 5,24
1,75 - 1,99	3,50 - 3,74	5,25 - 5,49
2,00 - 2,24	3,75 - 3,99	5,50 - 5,74
2,25 - 2,49	4,00 - 4,24	5,75 - 5,99
2,50 - 2,74	4,25 - 4,49	6,00 и более

Примечание. Размерность мелких круглых бриллиантов форм огранки Кр-57 и Кр-17 определяется рассевом на ситах или взвешиванием на каратных весах, фантазийных форм - только взвешиванием.

#### Чистота

Группа чистоты - профессионально данная оценка чистоты бриллианта, основанная на размере, количестве, расположении дефектов и их отражений, а также виде (яркие, темные, бесцветные или окрашенные), природе (кристаллическое минеральное включение, трещина) и типе включений (точечное, рассеянное, плоское, компактное) в соответствии со шкалой классификации. В ТУ предусмотрены различные системы группы чистоты для бриллиантов разных масс и огранок. Так для круглой формы, имеющей 17 граней - 6 групп. Для всех других огранок: 9 групп - при массе бриллиантов до 0,29 карат и 12 групп - при массе от 0,30 карат и более.

#### Система классификации чистоты

1. Характеристика высоких групп чистоты бриллиантов (просмотр бриллианта перпендикулярно площадке и в положении бриллианта шипом вверх). Дефекты определяются в 10x лупу и микроскоп (табл.4.3).

2. Характеристика средних групп чистоты бриллиантов (основное положение бриллианта для просмотра перпендикулярно площадке) (табл. 4.4).

3. Характеристика групп чистоты бриллиантов с дефектами, легко видимыми в 10x лупу(табл.4.5).

4. Характеристика низких групп чистоты бриллиантов (табл. 4.6).

Таблица 4.3. Характеристики высоких групп чистоты

Характеристика групп чистоты	Группы чистоты бриллиантов		
	Кр-17	До 0,29 карат вкл-но	От 0,30 карат и более
Без дефектов	1	1	1
Имеющие дефекты: в центральной зоне одну светлую точку, различимую только при просмотре бриллианта с нижней его части; или в средней и периферийной зонах не более двух едва уловимых светлых точек или одной едва уловимой полоски		2	2
Имеющие дефекты: в любой зоне не более трех незначительных светлых точек; или в средней и периферийной зонах не более двух дефектов в виде незначительных темных точек или полосок	2	3	3
Имеющие дефекты: в центральной зоне не более двух незначительных темных точек; или в любой зоне не более четырех небольших светлых точек, или не более двух полосок, или одной полоски и трех небольших светлых точек; или в периферийной зоне одну незначительную трещинку			4

Таблица 4.4. Характеристика средних групп чистоты

Характеристика групп чистоты	Кр-17		До 0,29 карат вкл	От 0,30 карат и более
Имеющие дефекты: в центральной зоне одно небольшое светлое облачко или одну небольшую трещинку, или не более трех небольших темных точек; или в любой зоне не более шести дефектов в виде небольших светлых точек и полосок; или в средней и периферийной зонах не более трех незначительных трещинок		4	5	
Имеющие дефекты: в любых зонах не более восьми мелких рассеянных светлых дефектов в виде точек, полосок, мелких трещинок, пузырьков, микршов и линий роста; или до пяти небольших темных точек; или одного незначительного графитового включения	3	5		6

Таблица 4.5. Характеристика групп чистоты с небольшими дефектами

Характеристика групп чистоты	Группы чистоты бриллиантов	Характеристика групп чистоты	Группы чистоты бриллиантов
Имеющие дефекты: в любых зонах не более восьми мелких рассеянных дефектов (в том числе едва видимых невооруженным глазом) в виде точек, полосок, мелких трещин, облачков или одного небольшого графитового включения	3	7	
Имеющие дефекты: в любых зонах не более двух небольших графитовых включений или не более двух небольших трещин; или одного небольшого облака в сочетании с графитовым включением; или несколько мелких трещин в сочетании с графитовым включением	3	5	7a
Имеющие многочисленные дефекты: в любых зонах в виде различных включений и трещин, в том числе слабо видимых невооруженным глазом	4	6	8

Таблица 4.6. Характеристики низких групп чистоты бриллиантов

Характеристика групп чистоты	Группы чистоты бриллиантов	Характеристика групп чистоты	Группы чистоты бриллиантов
Имеющие многочисленные дефекты: в любых зонах в виде различных включений, трещин или различных включений в сочетании с трещинами, в т.ч. видимых невооруженным глазом	4	6	9
Имеющие дефекты: в любых зонах различного вида, видимые невооруженным глазом и прозрачные для просмотра не менее 60% граней низа бриллианта		7	10
Имеющие дефекты: в любых зонах различного вида, видимые невооруженным глазом и прозрачные для просмотра от 60% до 30% граней низа бриллианта	5	8	11
Имеющие дефекты: в любых зонах различного вида, видимые невооруженным глазом и прозрачные для просмотра менее 30% граней низа бриллианта	6	9	12

При определении группы чистоты бриллиантов согласно ТУ, необходимо учитывать следующее:

- в случае наличия дефектов, дающих отражение, за количество дефектов принимается количество действительных и отраженных дефектов, видимых при просмотре бриллианта с верхней его части, перпендикулярно площадке.
- бриллианты массой от 0,30 карата и более с дополнительной гранью или калеткой к первой группе чистоты отнесены быть не могут.
- бриллианты от 6,00 карата и более по группам чистоты классифицировать комиссионно.

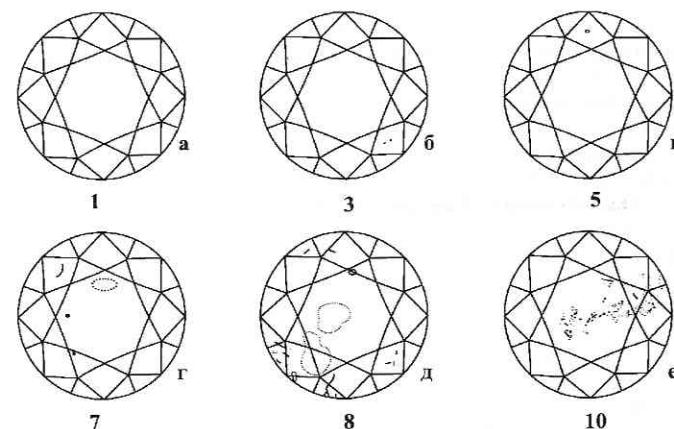


Рис. 4.16. Примеры групп чистоты бриллиантов массой от 0,30 карата: а – 1 группа чистоты; б – группа чистоты - 3; в – группа чистоты - 5; г – группа чистоты - 7; д – группа чистоты - 8; е – группа чистоты - 10.

По месту расположения дефекта в бриллианте условно выделяют три зоны:

1. центральная зона - часть объема бриллианта, находящаяся под площадкой, при просмотре в плане;
2. периферийная зона - часть объема бриллианта, ограниченная с внешней стороны контуром рундиста, а с внутренней воображаемым многоугольником, стороны которого проходят через общие вершины верхних и нижних клиньев верха; периферийная зона для бриллиантов ступенчатой огранки - часть объема бриллианта, просматриваемая через ярус верха, примыкающий к рундисту.
3. средняя зона - часть объема бриллианта, находящаяся между центральной и периферийной зонами.

#### Цвет

Бриллианты в зависимости от цвета и интенсивности окраски классифицируются в группы цвета. В ТУ существует три шкалы групп цвета: 4 группы цвета для простой (17 граней) круглой огранки, другие типы огранки имеют 7 групп цвета - для бриллиантов массой до 0,29 карата и 9 групп цвета для бриллиантов массой от 0,30 карата.

**Бриллианты круглой формы Кр-17** имеют четыре группы цвета:

1. Бесцветные.
2. С незначительным оттенком желтизны и с небольшим оттенком желтого, зеленого и серого цвета, а также с незначительным коричневым нацветом.
3. С ясно видимым желтым оттенком, желтые и с небольшим коричневым оттенком.
4. Коричневые.

**Бриллианты круглой Кр-57 и фантазийных форм огранки** массой до 0,29 карата (мелкие), подразделяются на семь групп цвета:

1. Бесцветные.
2. С незначительным оттенком.
3. С небольшим желтоватым, зеленым, фиолетовым, серым и едва уловимым коричневым оттенком.
4. С ясно видимым желтым, лимонным, зеленым, серым и со слабо уловимым коричневым оттенком, а также желтые с незначительным коричневым или болотным оттенком.
6. С видимым коричневым оттенком и серые.

7. Коричневые и коричнево-желтые, черные.

Шкала цвета средних и крупных бриллиантов, массой от 0,30 карата и более, подразделяется на следующие группы:

1. Бесцветные высшие, а также с оттенком голубизны.
2. Бесцветные.
3. С едва уловимым оттенком.
4. С незначительным оттенком желтизны.
5. С небольшим желтоватым, зеленоватым, фиолетовым и серым оттенком, а также с незначительным коричневым нацветом.
6. С видимым желтым, зеленым и серым оттенком.
- 6-1. С видимым коричневым оттенком.
7. С ясно видимым желтым, зеленым, лимонным и серым оттенком.
- 8-1. Очень слабо окрашенные желтые.
- 8-2. Слабо окрашенные желтые.
- 8-3. Легко окрашенные желтые.
- 8-4. Светло-желтые.
- 8-5. Желтые.
- 9-1. Слабо окрашенные коричневые.
- 9-2. Легко окрашенные коричневые.
- 9-3. Коричневые.
- 9-4. Темно-коричневые.

При определении цвета бриллианта согласно ТУ РФ необходимо учитывать следующее: Бриллианты, относящиеся к группам цвета «8-1» - «8-5», могут иметь незначительный серый или болотный оттенок («грязно-желтый» цвет).

Бриллианты болотного цвета темнее бриллианта-эталона цвета «8-4» следует относить к последней группе цвета «9-4».

Бриллианты серого цвета, в том числе из-за темных включений, темнее бриллианта-эталона цвета «7», в зависимости от интенсивности следует относить к группам цвета «9-1», «9-4».

Бриллианты уникальных цветов (голубого, розового, изумрудно-зеленого и других редко встречающихся цветов) классифицировать по первой группе цвета. Интенсивно окрашенные желтые бриллианты сравнивать со специально установленным бриллиантом-эталоном желтого уникального цвета и классифицировать комиссионно.

Бриллианты коричневого цвета темнее или насыщеннее бриллианта-эталона цвета «9-4» относить к коричневым уникальным цветам и классифицировать комиссионно.

Бриллианты от 6,00 карата и более классифицировать по группам цвета комиссионно.

### Огранка

Согласно ТУ качество огранки включает четыре класса:

- А. Высококачественные бриллианты.
- Б. Бриллианты пониженного качества огранки.
- В. и Г. Бриллианты низкого коммерческого качества.

Классы огранки - А, Б, В, Г определяются по пропорциям, симметрии и качеству полировки элементов огранки.

Требования к пропорциям элементов огранки (размер площадки  $bp$ , высота рундиста  $hr$ , угол наклона граней верха  $\alpha^\circ$ , угол наклона граней низа  $\beta^\circ$ ) приводятся далее в таблицах (табл.4.6, 4.7) и рисунках (рис. 4.18-4.30).

Требования к пропорциям различных видов огранки.

Бриллианты круглые пятидесятисемигранные (рис. 4.17; Табл. 4.7).

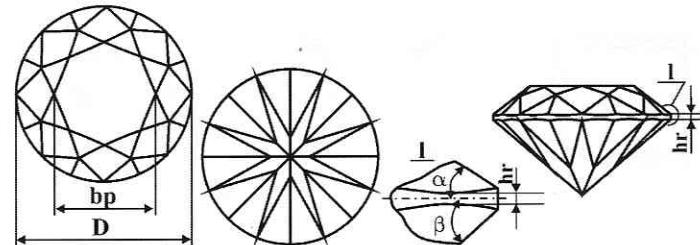


Рис. 4.17. Кр-57.

Таблица 4.7. Пропорции бриллиантов круглой огранки

Группа	Масса, карат	$bp, \%$	$hr, \%$	$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$
«А»	по 0,49	55-65	1,5-3,0	30-35	40-42
	от 0,50 до 0,99	55-65	0,7-2,5	30-35	40-42
	т 1,00	55-63	0,7 - 2,5	32-36	40-42
«Б»	-	50-65	0,7-5,0	30 - 40	38-43
«В»	-	50-68	0,5 - 7,0	30-40	38-43
«Г»	-	50-70	0,3-7,0	30-40	38-44

Примечание. Для бриллиантов групп огранки «В» и «Г» ограничения по массе отсутствуют.

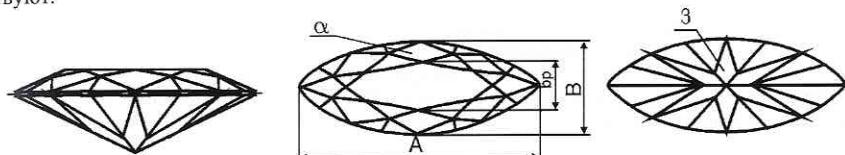


Рис. 4.18. Бриллианты формы «Маркиз» пятидесятипятигранные М-55.

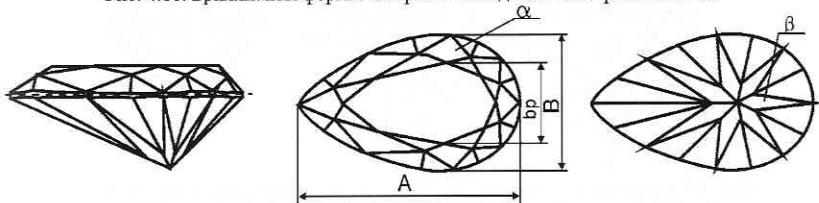


Рис. 4.19. Бриллианты формы «Груша» пятидесятишестигранные Г-56.

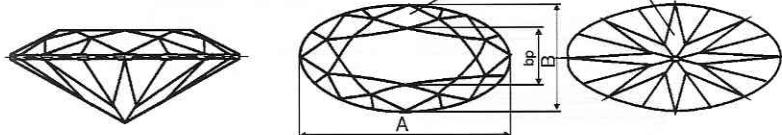


Рис. 4.20. Бриллианты формы «Овал» пятидесятисемигранные Ов-57.

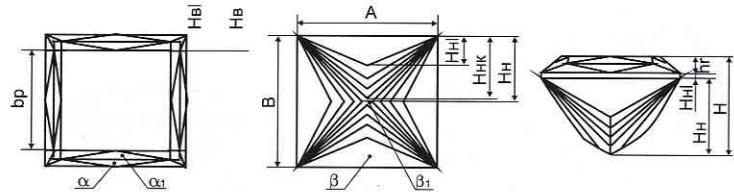


Рис. 4.21. Бриллианты формы «Принцесса» шестидесятипятигранные П-65.

Примечание. Бриллианты формы «Принцесса» семидесятитрехгранные П-73 имеют дополнительный ярус клиньев низа.

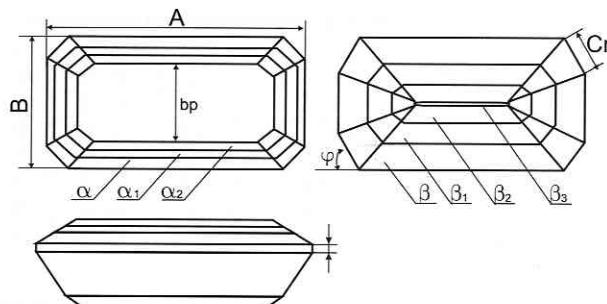


Рис. 4.22. Бриллианты формы «Изумруд» шестидесятипятигранные И-65 А.

Примечание. Бриллиант формы огранки «Изумруд» пятидевяностигранный И-57 имеет только три яруса низа.

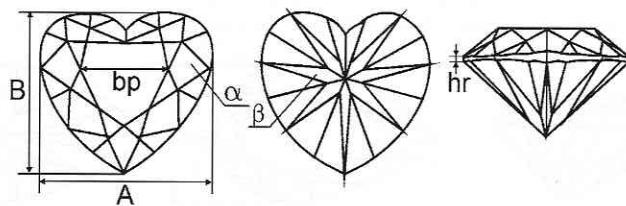


Рис. 4.23. Бриллианты формы «Сердце» пятидевяностигранные Се-57.

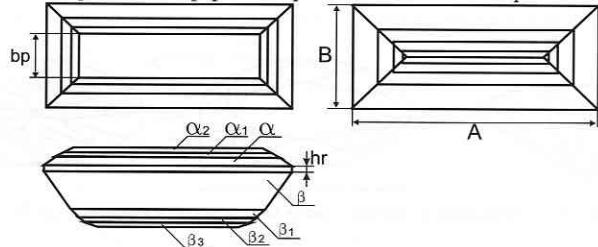


Рис. 4.24. Бриллиант формы «Багет прямоугольный» тридцатитрехгранный Бп-33.

Примечание. Бриллиант формы огранки «Багет» двадцатипятигранный Бп-25 имеет только два яруса верха и три яруса низа.

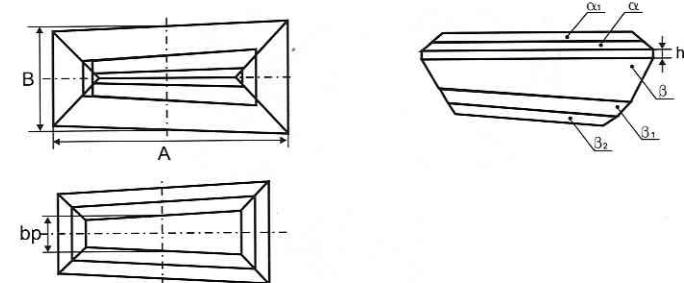


Рис. 4.25. Бриллиант формы «Багет трапециевидный» двадцатипятигранный

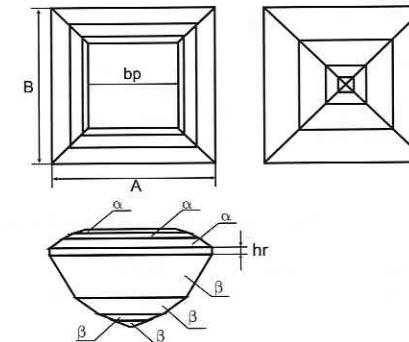


Рис. 4.26. Бриллиант формы «Квадрат» тридцатитрехгранный Kv-33.

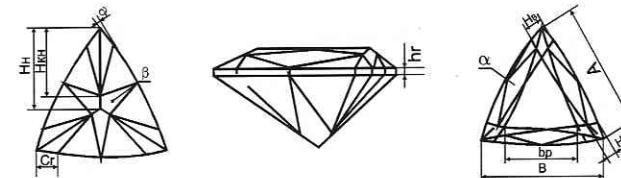


Рис. 4.27. Бриллиант формы «Триллиант» пятидевяностипятигранный Т-52.

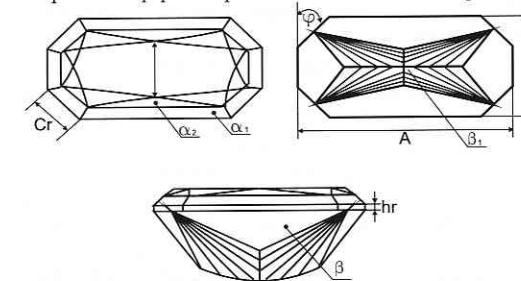


Рис. 4.28. Бриллиант формы «Радиант» шестидесятипятигранный Ра-65.

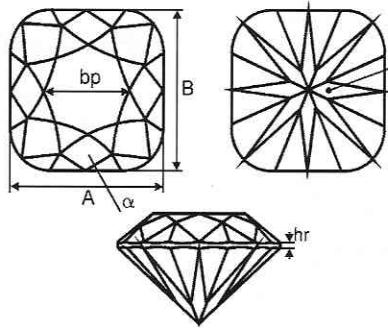


Рис. 4.29. Бриллиант угловатый пятидесятисемигранный У-57.

Условные обозначения элементов огранки бриллианта: D - диаметр бриллианта; A - длина бриллианта; B - ширина бриллианта; п - величина удлинения - отношение длины бриллианта к его ширине; bp — размер площадки; hr - высота рундиста;  $\alpha$  - угол наклона граней верха;  $\beta$  - угол наклона граней низа; Cr - ширина срезанной части рундиста;  $\phi$  - угол срезанной части рундиста.

Таблица 4.8. Пропорции бриллиантов фантазийных форм огранок.

	Группа	Величина удлинения, п	Масса, карат включительно	Размер площадки bp, %	Высота рундиста hr, %	Угол наклона граней верха, $\alpha$ , <sup>0</sup>	Угол наклона граней низа, $\beta$ , <sup>0</sup>	
«Маркиз» M-55	«А»	От 1,40	до 0,49	55-65	1,5-3,0	30-35	39-42	
			от 0,50 до 0,99	55-65	0,7 - 2,5	30-35	39-42	
			от 1,00	55-65	0,7-2,5	30-36	39-42	
	«Б»		от 0,10	55-65	0,7-3,0	30-36	39-42	
			до 0,49	55-65	1,5-3,0	30-35	39-42	
			от 0,50 до 0,99	55-65	0,7-2,5	30-35	39-42	
«Груша» Г-56	«А»	1,25-1,80	от 1,00	55-65	0,7-2,5	30-36	39-42	
			от 0,10	55-65	0,7-3,0	30-36	39-42	
			до 0,49	55-65	1,5-3,0	30-35	39-42	
	«Б»		от 0,50 до 0,99	55-65	0,7-2,5	30-35	39-42	
			от 1,00	55-65	0,7-2,5	30-36	39-42	
			от 0,10	55-65	0,7-3,0	30-36	39-42	
«Овал» OB-57			до 0,49	55-65	1,5-3,0	30-35	39-42	
	«А»	1,20	от 0,50 до 0,99	55-65	0,7 - 2,5	30-35	39-42	
		1,80	от 1,00	55-65	0,7 - 2,5	30-36	39-42	
	«Б»		от 0,10	55-65	0,7-3,0	30-36	39-42	

	Группа	Величина удлинения, п	Масса, карат включительно	Размер площадки bp, %	Высота рундиста hr, %	Угол наклона граней верха, $\alpha$ , <sup>0</sup>	Угол наклона граней низа, $\beta$ , <sup>0</sup>
«Радиант» PA-65	«А»	«Принцесса» П-65	1,00-1,05	75-85	2,0-6,0	35-38	39-42
«Багет прямоугольный» БП-33	«А»	«Изумруд» И-65	1,10-1,80	50-70	1,0-3,0	35-45	39-43
«Багет трапециевидный» БГ-25	«А»	«Сердце» СЕ-57	0,90-1,20	50-65	1,0-3,0	30-36	39-43
«Квадрат» КВ-33	«А»	«Багет прямоугольный» БП-33	От 1,40	50-70	1,0-3,0	35-45	39-42
«Триллиант» Т-52	«А»	«Багет трапециевидный» БГ-25	От 1,40	50-70	1,0-3,0	35-45	39-43
«Радиант» PA-65	«А»	«Квадрат» КВ-33	1,00-1,05	60-80	1,0-3,0	38-45	39-42
«Радиант» PA-65	«А»	«Триллиант» Т-52	1,00-1,10	60-70	1,0-5,0	30-34	40-42
«Радиант» PA-65	«А»	«Багет прямоугольный» БП-33	1,06-1,50	60-80	1,0-3,0	44-48	50-60

	Группа	Величина удлинения, $\mu$	Масса, карат включительно	Размер площадки bp, %	Высота рундиста hr, %	Угол наклона граней верха, $\alpha, ^\circ$	Угол наклона граней низа, $\beta, ^\circ$
Бриллиант угловатый У-57	«А»	0,95-1,05		55-65	1,5-3,0	30-36	40-42
	«Б»	0,93-1,07		50-65	1,5-5,0	30-40	38-43

По ТУ РФ допускаются незначительные отклонения симметрии элементов и пороки обработки в бриллианте.

### 1. Отклонения формы

Бриллианты круглой формы при просмотре их с верхней части перпендикулярно площадке должны иметь форму круга по всему периметру рундиста. Допускается некруглость в соответствии с таблицей 4.9.

Для бриллиантов групп «А» и «Б» форм М-55, Г-56, Ов-57, Се-57, Т-52, У-57 отклонение по форме от плоскости симметрии не должно превышать 1,5 % от ширины бриллианта.

### 2. Смещение калетты (шипа) и площадки относительно оси бриллианта

Для бриллиантов группы «А» смещение калетты (шипа) и центра площадки относительно оси бриллианта массой до 0,29 карат включительно должно быть не более 2% от диаметра или ширины, массой от 0,30 карат до 0,99 карат включительно не более 1,5% от диаметра или ширины. На бриллиантах массой от 1,00 карата и более допускается смещение калетты и центра площадки не более 0,5% от их диаметра или ширины.

Для бриллиантов ступенчатой огранки групп «А» и «Б» высота граней в пределах одного яруса должна быть одинаковой.

Таблица 4.9. Допускаемая некруглость

Диаметр бриллианта, мм	Некруглость рундиста	
	Группа бриллиантов	
	«А»	«Б»
До 3,00	0,06 мм	0,08 мм
От 3,00 до 5,00	2,0%	2,5%
От 5,00 и более	0,10 мм	0,13 мм

### 3. Отклонение контура рундиста

Для бриллиантов групп «А» и «Б» допускается неравномерность высоты рундиста в пределах 25% между максимальным и минимальным значениями его фактической высоты. Для бриллиантов массой от 1,00 карата и более рундист должен быть визуально равномерным по всему периметру.

### 4. Смещения граней верха относительно граней низа

Грань верха должны располагаться над гранями низа. Для бриллиантов массой до 0,99 карата включительно форм огранки Кр-17, Кр-57, М-55, Г-56, Ов-57, Се-57, У-57 допускаются смещения ребер граней и клиньев верха относительно ребер и граней низа, но не более:

10% основания нижнего клина верха или грани верха бриллиантов группы «А»;

20% основания нижнего клина верха или грани верха бриллиантов группы «Б».

Все элементы огранки верха бриллиантов груши огранки «А» и «Б» массой от 1,00 карата и более при просмотре в лупу 10 увеличения должны быть визуально симметричны элементам огранки низа.

### 5. Допуск найфов и дополнительных граней

На поверхности низа бриллиантов форм огранки Кр-17, Кр-57, М-55, Г-56, Ов-57, Се-57, У-57, Бп-33, Бг-25, И-57, И-65, П-65, П-73, Кв-33, Т-52, Ра-65 допускаются не более четырех дополнительных граней или найфов.

На поверхности граней верха бриллиантов массой до 0,29 карат включительно 8-9 групп чистоты, массой от 0,30 карат и более 11-12 групп чистоты, с целью исключения дефектов и грубой морфологии, если это экономически целесообразно, допускается наличие одного найфа или дополнительной грани, высотой не более 1/4 высоты ребра парного клина верха.

На поверхности найфов бриллиантов групп «А» и «Б» допускается наличие морфологических особенностей граней исходного кристалла алмаза без ярко выраженной ступенчатости и следов травления.

Дополнительные грани и найфы на бриллиантах групп «А» и «Б» не должны искажать форму рундиста в плане и просматриваться со стороны площадки бриллиантов в направлении, параллельном оси его симметрии. Для бриллиантов массой до 0,29 карат включительно 6-9 групп чистоты, массой от 0,30 карат и более 9-12 групп чистоты дополнительные грани и найфы могут просматриваться со стороны площадки.

Высота рундиста бриллиантов групп «А» и «Б» над или под дополнительными гранями и найфами должна быть не менее 50% высоты рундиста, по сравнению с соседними гранями (клиньями).

### 6. Допуск отклонений углов наклона граней верха или низа

Разность углов наклона граней верха или низа к плоскости рундиста на одном бриллианте допускается не более:

1°-для группы «А»; 2° - для группы «Б»; 3° - для группы «В»; более 3° - для группы «Г».

### 4.3. Оценка бриллиантов по системе GIA

Оценка бриллиантов, как уже упоминалось выше, во всем мире имеет общий подход и принципы. Система оценки бриллиантов, предлагаемая Геммологическим Институтом Америки (Gemological Institute of America - GIA) основывается на определении так называемых 4-х «Си»: Массы (Carat weight), Цвета (Color), Чистоты (Clarity) и Огранки (Cut). Подобно другим системам, существующим в мире, она имеет свои особенности, которые появились в связи с историческими, экономическими, социальными, национальными и т.п. особенностями.

Системы оценки бриллиантов, как в GIA, так и в России, во многом похожи. И в связи с этим естественно возникает вопрос: если разница в основных понятиях систем оценки бриллиантов по ТУ России и по GIA незначительна, то нельзя ли их просто перевести одна в другую? Для того, чтобы ответить на этот вопрос, необходимо более подробно рассмотреть подход, предлагаемый GIA при определении каждого из классификационных признаков, определяющих оценку бриллианта, а затем сравнить с ТУ России, которые нам уже известны из предыдущих глав.

#### Масса бриллиантов

Масса бриллиантов определяется в каратах (carat, сокращенно – ct.). Масса каждого бриллианта указывается с точностью до сотых долей карата (например 0,25 кар, 1,00 кар и т.д.). Определяется масса согласно общему правилу – взвешиванием на электронных весах. Особое внимание следует обратить на продажу бриллиантов в лоте (т.е. некоторого количества бриллиантов, предлагаемых вместе под общей массой), камни из которого впоследствии будут использованы по отдельности. Так как при определении массы бриллианта тысячные доли карата, меньшие 0,009 кар. не учитываются, то суммарная масса всех камней, взвешенных по отдельности, окажется меньше массы лота.

Поэтому в торговле, в отличие от лабораторных правил, правил сертификации относительно определения массы каждого бриллианта в отдельности, существует практика определения его массы в соответствии с арифметическими правилами округления: начиная с 0,005 кар., масса округляется в большую сторону, а если бриллиант имеет массу до 0,005 кар., то его не учитывают (например: 0.241(2,3,4)кар. = 0.24кар.; 0.245(6,7,8,9)кар. = 0.25кар.). Также округляется масса, когда она определяется не на электронных весах, а рассчитывается по формулам с использованием геометрических параметров (для круглых форм – это средний диаметр и высота бриллианта; для всех фантазийных – длина, ширина и высота бриллианта). При продажах бриллиантов существует также практика обозначения их массы в “поп-интах” (point (pt.); 1pt. = 0,01 ct.).

#### Чистота бриллиантов

Подробное описание возможных включений и поверхностных дефектов, которые могут встречаться в ограненном алмазе – бриллианте, ранее уже было рассмотрено, поэтому здесь мы просто отметим их обозначения в системе GIA.

#### Характеристики чистоты:

Natural (N) – найф;  
Extra Facet (EF) – дополнительная грань;  
Crystal (Xtl) – кристалл;  
Needle (Ndl) – игла;  
Pinpoint (Pp) – включение точечного размера;  
Cloud (Cld) – облако;  
Feather (Ftr) – перо;  
Bruise (Br) – след удара;  
Bearded Girdle (BG) – бородатый рундист;  
Indented Natural (IndN) – углублённый найф;  
Chip (Ch) – скол;  
Cavity (Cv) – полость или углубление;  
Twining Wisp (W) – двойниковые швы;  
Internal Graning (IntGR) – внутренний грейнинг;  
Surface Graning (SGr) – поверхностный грейнинг;  
Grain Center (GrCnt) – центр грейнинга;  
Laser Drill-hole (LDH) – след от лазерного сверления;  
Internal Laser drilling (ILD) – след от внутреннего лазерного сверления;  
Pit (Pit) – ямка;  
Nick (Nk) – выкол;  
Scratch (S) – царапина;  
Abrasion (Abr) – абразия (потёртость);  
Lizard Skin – кожа ящерицы;  
Polish Lines (PL) – линии полировки;  
Polish Marks (PM) – метки полировки;  
Rough Girdle (RG) – необработанный, грубый рундист.

Примечание. Термин “Грейнинг” связан с проявлениями в алмазах пластической деформации: плоскостями скольжения (внутренний грейнинг), линиями скольжения (поверхностный грейнинг), точкой пересечения линий скольжения двух систем (центр грейнинга).

#### Группы чистоты GIA

Методика описания чистоты GIA представляет собой универсальную шкалу, в которую входит 11 групп. Для определения группы чистоты помимо выявления характеристик чистоты, оценивается также их влияние на внешний вид, красоту и прочность бриллианта. Поэтому все включения и поверхностные дефекты рассматривают еще и с точки зрения их:

- размера ;
- местоположения;
- цвета или рельефа;
- количества;
- природы происхождения .

Также следует учитывать, что любого плана дефекты могут быть более заметными в крупных камнях и в некоторых алмазах фантазийных огранок.

#### Flawless ( FL ) – не имеющие включений.

В бриллиантах чистоты FL опытный оценщик, используя 10х увеличение, не обнаруживает ни внутренних включений, ни поверхностных дефектов любых видов.

В бриллиантах чистоты FL допускаются :

дополнительные грани, не просматриваемые через корону;  
найфы, целиком заключенные в пределах рундиста, но не утолщающие его и не нарушающие линию контура бриллианта по рундисту;  
внутренний грейнинг – не белый, не цветной, не отражающий и не оказывающий влияние на прозрачность бриллианта;  
надписи лазером на рундисте, не видимые при просмотре камня через корону.

#### Internally flawless ( IF ) – не имеющие внутренних включений.

В бриллиантах чистоты IF опытный оценщик, используя 10х увеличение, обнаруживает только незначительные поверхностные дефекты, но не находит никаких внутренних включений. В эту группу чистоты входят бриллианты, которые не отвечают строгим требованиям группы FI. Обычно поверхностные дефекты бриллиантов чистоты IF могут быть удалены очень незначительной переполировкой. Исключением является поверхностный грейнинг, т.к. его нельзя устранить переполировкой.

**Very very slightly included ( VVS1 и VVS2 )** – имеющие очень незначительные включения. Бриллианты чистоты VVS содержат **мельчайшего** размера включения, которые экстремально трудно (VVS1) или очень трудно (VVS2) обнаружить опытному оценщику, используя 10х увеличение. Включения в бриллиантах VVS1 экстремально трудно найти в положении камня короной вверх или они могут быть обнаружены только при просмотре через его павильон. В бриллиантах чистоты VVS2 они все еще очень трудно находимы.

#### Very slightly included ( VS1 и VS2 ) – имеющие очень незначительные включения.

Бриллианты чистоты VS содержат **незначительного** размера включения и поверхностные дефекты, которые трудновато (VS1) или нетрудно (VS2) находить опытному эксперту, используя 10х увеличение. Типичными для этих групп чистоты являются включения не больших кристаллов, перьев и контрастно выделяющихся облаков.

Для правильного определения группы чистоты необходимо соотнести размер, происхождение, положение и количество, цвет и рельеф включений и поверхностных дефектов с размерами, формой и типом огранки камня. Например, бриллиант ступенчатой огранки массой более 1,00 карата может иметь включение кристалла около угла площадки. При некоторых поворотах камня, кристалл может быть слегка заметен невооруженным глазом, но его чистота останется еще VS2. Во всех остальных случаях увидеть невооруженным глазом характеристики чистоты VS невозможно.

#### Slightly included ( SI1 и SI2 ) – имеющие незначительные включения.

Бриллианты чистоты SI содержат включения и поверхностные дефекты **заметного** размера, которые легко SI1 или очень легко SI2 обнаружить в камне опытному оценщику, используя 10х увеличение. Типичными для этих групп чистоты являются включения кристаллов, облаков и перьев.

Как и в примере с группами чистоты VS, включения в бриллиантах групп SI также могут быть заметны невооруженным глазом в бриллиантах крупных размеров и некоторых форм и типов огранок. При этом их чистота еще остается SI. Относится это в основном к бриллиантам группы чистоты SI2 – включения и поверхностные дефекты в них более часто можно заметить невооруженным глазом. Бриллианты чистоты SI1 имеют включения, в общем случае не заметные без увеличения в положении камня короной вверх.

#### Included (I1, I2 и I3) – имеющие включения.

Бриллианты, попадающие в группы чистоты I, содержат включения и поверхностные дефекты, настолько **крупного** размера и/или многочисленные, что опытному оценщику не составляет никакого труда обнаружить их, как используя 10x увеличение, так и без него.

Для характеристики чистоты этих групп справедливы одно или несколько из следующих описаний: размер, количество, цвет, местоположение дефектов таковы, что они могут быть видны через корону бриллианта без увеличения; размер, количество, местоположение дефектов таковы, что они могут оказывать серьезное влияние на прочность камня; размер, количество, цвет, местоположение дефектов таковы, что они могут иметь такой крупный размер или большое количество, что это будет сказываться на прозрачности, блеске и/или игре бриллианта.

Включения бриллиантов чистоты I1 обычно довольно заметны невооруженным глазом. В бриллиантах чистоты I2 они легко заметны невооруженным глазом. Включения и поверхностные дефекты имеют такие размеры и/или количество и местоположение, что могут оказывать влияние на блеск и игру бриллиантов. В группе чистоты I3 они очень легко заметны невооруженным глазом и могут оказывать влияние не только на блеск и игру бриллианта, но и на его прочность.

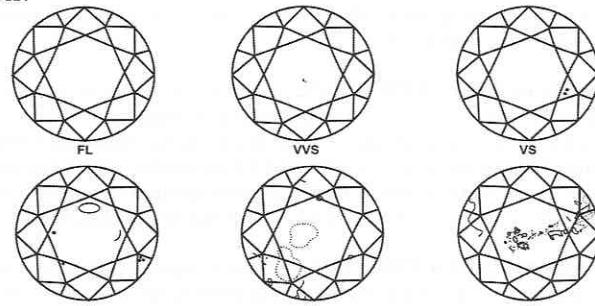


Рис. 4.30. Примеры бриллиантов, относимых к разным группам чистоты

Только имея постоянную практику в работе с бриллиантами, возможно более верно установить чистоту бриллианта (рис. 4.30). Именно практика позволяет правильно воспринимать, понимать и закреплять такие понятия, как “мельчайший”, “заметный”, “незначительный” и т.д. Для одного человека эти определения могут обозначать один размер, но для другого – уже иной. Поэтому для того, чтобы стать опытным оценщиком, необходима практика.

При детальном, внимательном прочтении описания групп чистоты бриллиантов по ТУ России и по GIA видно, что они имеют сходные черты: в обеих системах рассматривают одинаковые включения и поверхностные дефекты, обе системы учитывают не просто сам факт наличия включений и поверхностных дефектов, а и их размер, цвет, рельеф, количество, местоположение и природу их происхождения. Однако существуют и отличия. В ТУ России используются цифровые обозначения групп чистоты, а в системе GIA – буквенные. В ТУ России существует три шкалы для определения чистоты бриллиантов в зависимости от их типа огранки и массы, а в системе GIA для всех размеров, форм и типов огранок используется одна и та же шкала. Поэтому вопрос, волнующий многих людей, так или иначе связанных

с ювелирной промышленностью, вопрос перевода групп чистоты из одной системы в другую, не может быть решен однозначно. Профессиональным оценщикам, работающим в этой области, ясна сложность проблемы. Даже если просто посчитать группы чистоты, то в GIA их 11, а в ТУ России – в зависимости от типа огранки и массы бриллиантов – их 6, 9 и 12 соответственно. Поэтому **прямого перевода из одной системы в другую не может быть** – границы между соответствующими группами будут более широкими, а учитывая серьезность некоторых включений и их яркость, – и неоднозначными. В любом случае, не просмотрев реальный камень, нельзя, опираясь только на имеющуюся группу чистоты по одной из систем, перевести ее в группу чистоты другой системы. Учитывая опыт работы кафедры геммологии РГГРУ и НОУ “Геммологический Институт”, а также специалистов области, соответствие групп чистоты по системам GIA и ТУ России может выглядеть так, как это показано в таблице 4.10:

Как видно из таблицы 4.10, действительно можно лишь предположить, какой группы чистоты окажется бриллиант, если имеется его описание только по одной из систем.

Поэтому мы и подчеркиваем важность обучения для правильного определения чистоты бриллианта. Оценивая чистоту, необходимо не только владеть определенными навыками, опытом, терминологией, но и понимать, что обозначают с точки зрения оценки чистоты бриллианта, такие ее описания, как мельчайшие, мелкие, небольшие и т.д. Так как то, что обычно подразумевается под термином «мельчайший», для бриллианта может означать «огромный». Поэтому, приступая к оценке бриллианта, просто необходимо пройти соответствующие обучение и стажировку.

Таблица 4.10. Группы чистоты бриллиантов по GIA и по ТУ России

Группа чистоты по GIA	Группы чистоты по ТУ России в зависимости от типа огранки и размера		
	Тип огранки		Кр 17
	Кр 57	0.30 кар и более	
FI	1	1	1
IF	2	2	2
VVS1	2,3	2	2
VVS2	3,4	2,3	2
VS1	4,5	3,4	2,3
VS2	5,6,7	4,5	3
SI1	7,7a	5	3
SI2	7a,8	5,6	3,4
I1	8,9	6,7	4
I2	10,11	7,8	5
I3	11,12	8,9	6

#### Цвет бриллиантов

Цвет бриллианта определяется наличием или отсутствием у него некоторых оттенков. Если оттенок, который заметен у бриллианта, желтый, коричневый или серый, речь идет об обычном цветовом ряде, но если же это любые другие цвета или те же желтый, коричневый и серый, но более высокой степени насыщенности по сравнению с последним цветом из обычного цветового ряда, то мы имеем дело с бриллиантами фантазийных цветов.

Группы цвета в системе GIA имеют буквенные обозначения. Шкала цвета GIA начинается с буквы D (бесцветные) и далее через весь алфавит до буквы Z (светло-желтые). Поэтому бриллианты, которые находятся в обычном цветовом ряду и попадают в диапазон от бес-

цветных до светло-желтых и светло-коричневых цветов, еще имеют название «цвета диапазона от D до Z». Если все остальные классификационные признаки будут одинаковыми, бесцветные бриллианты оцениваются более высоко.

Каждая группа цвета бриллиантов - это цвет определенной степени насыщенности. Т.к. каждая буква шкалы от D до Z представляет собой не одно какое-либо значение, а некоторый узкий цветовой диапазон, то может оказаться, что два бриллианта одной группы цвета в действительности будут незначительно отличаться друг от друга по насыщенности цвета.

Разница между одной группой цвета и другой на шкале от D до Z может иметь существенное влияние на цену. Самая большая разница ценах присутствует у бриллиантов в верхней части шкалы. При спуске вниз по шкале цвета эта разница уменьшается. Поэтому очень важно проводить процедуру определения цвета тщательно и в одинаковых условиях.

#### Группы цвета

Шкала цвета GIA может быть подразделена на интервалы бесцветных, почти бесцветных, слабо желтоватых, очень светло-желтых и светло-желтых цветов бриллиантов.

**Бесцветные бриллианты** — это группы цветов D-E-F. Собственно бесцветным является цвет D - обычно он совсем не имеет оттенков. Цвета E и F имеют едва уловимые оттенки, но заметить их можно только в положении камня короной вниз и опытным оценщиком. Разница между этими цветами очень слабая и очень трудно различима, особенно для камней массой до 0,25ct. Бриллианты этого интервала цветом редки и имеют высокую стоимость.

**Почти бесцветные бриллианты** - это цвета G-H-I-J. Бриллианты этого интервала цветов выглядят бесцветными в положении короной вверх и почти бесцветными в положении короной вниз. Они имеют цвет относительно невысокой насыщенности, поэтому для непрофессионального глаза бриллианты этих цветов будут казаться бесцветными, когда окажутся в оправе. Бриллианты этих цветов популярны, т.к. при относительно невысокой насыщенности цвета для того, чтобы его можно было легко заметить, имеют более низкую цену, чем бесцветные, что и является очень привлекательным для покупателей.

**Слабо-желтоватые бриллианты** - это интервал цветов K-L-M. Бриллианты этих цветов имеют оттенки достаточно высокой насыщенности, которые можно заметить и в положении камня короной вверх и в положении камня короной вниз. Когда бриллианты этих цветов окажутся в оправе, то более мелкие будут казаться еще бесцветными, но более крупные будут уже иметь, хотя и светлые, но все же заметные оттенки.

Бриллианты интервала от N до R называют **очень светло-желтыми**. Это означает, что бриллианты этих цветов выглядят светло-желтыми и в положении короной вверх и в положении короной вниз, и их цвет будет заметен даже тогда, когда они будут находиться в изделиях.

Бриллианты интервала от S до Z называют **светло-желтыми**. Они имеют очень заметный цвет при просмотре бриллианта как короной вверх, так и короной вниз. Цвет легко замечен у бриллиантов и в оправах и без них.

Если бриллиант имеет более насыщенный цвет по сравнению с группой Z, он переходит, как уже упоминалось выше, в группу фантазийных цветов, которая начинается с Fancy light yellow - фантазийного светло-желтого, и этот переход означает повышение цены. Иногда во время огранки удается перевести алмазы с цветом от X до Z в группу фантазийных цветов бриллиантов.

Основным цветом, присутствующим у бриллиантов является желтый, поэтому при описании групп цвета, в первую очередь, указывают именно его. Но в обычном цветовом ряду довольно часто встречаются также и бриллианты коричневого цвета. Разница в описании бриллиантов коричневых и желтых цветов появляется для групп цвета более насыщенных, чем цвет группы J (в цветах от D до K они описываются одинаково). Бриллианты коричневых цветов, насыщенность которых соответствует группам цвета от K до Z, описываются аналогично фантазийным цветам, давая им общее название интервала: цвета от K до M будут описаны как Faint brown (бледно - коричневый), цвета от N до R - Very light brown (очень

светло-коричневые), цвета от S до Z - Light brown (светло-коричневые). Например, если цвет бриллианта определен как коричневый и его насыщенность соответствует группе N, то описание его будет следующим: N - very light brown (N - очень светло-коричневый).

В обычном цветовом ряду также могут встречаться бриллианты серого цвета. Бриллианты серого цвета, имеющие цвет более насыщенный по сравнению с эталоном цвета J, описываются почти аналогично коричневым, но без добавления буквы, как при описании бриллиантов коричневых цветов (в цветах от D по J они описываются аналогично бриллиантам желтых цветов). Поэтому, например, бриллиант серого цвета K будет описан следующим образом: Faint gray (бледно - серый).

Методика определения цвета бриллиантов, также как и определения их чистоты, во многом схожа с той, которая уже была рассмотрена нами выше при описании Третьего классификационного признака - Цвета.

**Эталоны цвета бриллиантов** – это незакрепленные бриллианты, отвечающие некоторым специфическим требованиям :

- эталоны должны иметь круглую форму и стандартную бриллиантовую огранку;
- минимальная масса эталонов не должна быть менее 0,25ct. и в наборе эталоны не должны отличаться по массе друг от друга более, чем на 0,10 ct.;
- эталоны обычно подбирают из желтых цветов различной степени насыщенности от бесцветного до светло-желтого; эталоны цветов от E до J не должны люминесцировать в УФ-лучах, а у эталонов цветов от K до Z допускается наличие фотолюминесценции от слабой до средней;
- эталоны должны иметь чистоту не ниже SI2, при этом не должно быть включений и поверхностных дефектов, видимых через павильон бриллианта невооруженным глазом и влияющих на его цвет или прозрачность;
- пропорции эталонов должны отвечать середине интервала стандартной огранки;
- корона и павильон не должны быть заметно мелкими или глубокими;
- толщина рундиста может изменяться от тонкого до толстого.

Цвет бриллиантов - и желтых, и коричневых и серых цветов - определяется по одним и тем же эталонам, - желтого цвета. Эталон цвета бриллиантов – это начало каждой из групп цвета, т.е. он как бы открывает новую группу цвета.

Определение цвета бриллиантов с помощью набора эталонов цвета, изготовленных из бриллиантов – безусловно самый точный, быстрый и надежный способ определения цвета, но и, к сожалению, самый дорогостоящий. Высокая стоимость эталонов является следствием довольно строгих требований, которым должны удовлетворять бриллианты, чтобы они могли быть эталонами, и, к тому же и сами по себе бриллианты не дешевы. Поэтому промышленность предлагает более доступные, но не всегда такие же надежные - альтернативные наборы эталонов для определения цвета бриллиантов, изготовленные из искусственно выращенного материала – фианита. Требования, предъявляемые к этому материалу, почти такие же, как и к бриллиантам, но свои, также специфические особенности не могут обеспечить ему высокую надежность. Фианит имеет неустойчивую структуру, что выражается со временем в изменении его первоначально желтого цвета на коричневый и превращении его из прозрачного в более мутный. Поэтому наборы эталонов для определения цвета бриллиантов, изготовленные из фианитов могут быть использованы при работе с бриллиантами, но при условии их периодической поверки по эталонам, изготовленным из бриллиантов - для того, чтобы уловить момент изменения цвета эталонов-фианитов.

Помимо определения цвета бриллиантов по эталонам цвета, используется так называемая визуальная методика. Визуальная методика основана на представлении и описании того, как виден цвет в бриллианте, когда камень сначала находится в положении короной вниз, а затем короной вверх, т.е. взгляд направлен перпендикулярно его короне. И в зависимости от того, что мы видим – бесцветный бриллиант, имеющий некоторый оттенок или уже цвет и в каком положении камня – короной вверх или короной вниз, - бриллианту присваивается та или иная

группа цвета. Этот метод также не является абсолютно надежным, но при определенных на- выках и постоянной практике дает довольно точные результаты.

Шкала оценки цвета по системе GIA применима для всех размеров, форм и типов огранок бриллиантов. Рассматривая вопрос установления возможного соответствия групп цвета по системам оценки цвета GIA и ТУ России, мы видим, что **нельзя установить однозначное соответствие между группами цветов**, существующими в этих системах. Эта неоднозначность наглядно показана в таблице 4.11. Поэтому невозможно, не видя реальный бриллиант, а имея только описание его цвета по одной из систем, правильно определить его цвет в другой системе.

Определяя цвета бриллиантов, очень важно представлять и понимать, что в системе GIA почти во всех группах цвета, представляющих наибольший интерес в ювелирной промышленности (это, как правило, цвета от D до K), может встречаться как жёлтый, так и коричневый оттенок, т.е. каждая группа – это только соответствующая насыщенность – её некоторый диапазон, а не сам оттенок. В ТУ России существует разделение шкалы на жёлтый и коричневый оттенки в тех группах цвета, в которых они становятся отчётливо заметными. Поэтому для более верной оценки цвета бриллиантов необходимо получить не только теоретические знания, но и практический опыт.

Таблица 4.11. Группы цвета бриллиантов по GIA и по ТУ России

Группа цвета по GIA	Группы цвета по ТУ России в зависимости от типа огранки и размера			
	Тип огранки		Кр 17	
	Kр 57	0.30 кар и более	0.29 кар и менее	
D	1,2	1	1	
E	2,3	2	1	
F	3,4	2,3	1,2	
G	4,5	3	2	
H	5,6	3,4	2	
I	6,7;6-1	4	2	
J	7,8-1;6-1;9-1	4,5,6	2,3,4	
K	8-1;8-2,9-1	5,6	3,4	
L	8-2; 8-3;9-1; 9-2	5,6	3,4	
M	8-3,8-4;9-2,9-3	5,6	3,4	
N	8-4 9-3	5,6	3,4	
Q-R	8-4 9-4			
от S-T до Z	8-5 9-4	5,7	3,4	

На самом деле проблема эта стоит довольно остро. Описания чистоты и цвета как по системе ТУ России, так и по системе GIA открыты и доступны. И мы сталкиваемся с тем, что появилось довольно много экспертов, которые начинают по-своему трактовать эти описания, вкладывая в них неверный смысл, тем самым завышая оценку бриллианта. Когда такие «эксперты» начинают оценивать бриллианты, получаем печальные результаты. Чистота, например, определенная ими как 3, в действительности может оказаться 5, а то и 6 или даже 7, а бриллиант чистоты VS ими оценивается как VVS. И то же самое с цветом – рынок требует бриллианты 2-3 группы цвета – пожалуйста, а на поверхку они, оказываются 5-6-7 групп цвета; цвета же, определенные ими как D-E-F, могут оказаться G-H-I. В итоге страдает покупатель, вынужденный оплачивать из своего кармана ошибки подобных «экспертов» – разница в цене в зависимости от остальных классификационных признаков, может оказаться весьма существенной.

#### 4.4. Бриллианты фантазийных цветов

Фантазийно окрашенные бриллианты – это бриллианты, цвет которых не рассматривается в пределах обычного цветового ряда. Большинство бриллиантов фантазийных цветов описываются в геммологических лабораториях, т.к. определение их цвета – это более сложный и специфический процесс, по сравнению с определением цвета обычного цветового ряда.

Фантазийные цвета бриллиантов редкие и дорогие, они всегда были и остаются престижными. Но не всегда желания соответствуют действительности, и, может так оказаться, что под описанием цвета бриллианта «кофе с молоком» находится бриллиант коричневого оттенка низа шкалы цвета обычного цветового ряда, а под романтическим названием «оливковый» – желто-серый из того же низа шкалы цвета обычного цветового ряда. Поэтому, чтобы правильно понимать, что стоит за тем или иным описанием цвета и было предложено использовать то же описание, что используют при описании цвета цветных камней.

Цвет, который мы видим у бриллианта – это сочетание спектрального цвета и цветового оттенка (hue), которые дают основное впечатление о цвете и его название, тона (tone) – относительной светлоты или темноты, присущей цвету и насыщенности (saturation), т.е. силы, или интенсивности цвета.

Для описания фантазийных цветов бриллиантов GIA использует 27 цветов – основных цветов и цветов с оттенками [14,15]. Это такие основные цвета, как красный, синий, зеленый и т.д. и цвета с оттенками – например, оранжево-красный, сине-зеленый, зеленовато-желтый и т.д. Вследствие того, что определенные цвета имеют значительно более высокую цену, во избежание путаницы, преобладающий цветовой оттенок записывается последним.



Рис. 4.31. Фантазийные цвета бриллиантов [14]

Фантазийные цвета бриллиантов описываются в соответствии со следующей шкалой:

- Faint – бледный;
- Very light - очень светлый;
- Light – светлый;
- Fancy light - фантазийный светлый;
- Fancy – фантазийный;
- Fancy intense - фантазийный интенсивный;
- Fancy dark - фантазийный темный;
- Fancy deep - фантазийный глубокий;
- Fancy vivid - фантазийный яркий.

Первые три группы цвета - бледный, очень светлый и светлый - используются для описания всех цветов, кроме желтого, коричневого и серого. Эти три группы цвета не являются, строго говоря, фантазийными. Faint – бледный, Very light - очень светлый и Light – светлый обозначают не принадлежность к фантазийным цветам, а приближение к ним. Остальные обозначения, начиная с **фантазийного светлого** (Fancy light) применяются ко всем цветам, включая и желтые, и коричневые, и серые, и они уже относятся к собственно фантазийным цветам [10]. Четких границ между группами фантазийных цветов, аналогичных группам цвета обычного цветового ряда, пока еще не существует. Хотя, справедливости ради, стоит отметить, что работы в этом направлении не прекращаются. Проблема осложняется тем, что не могут быть составлены эталоны для определения фантазийных цветов - слишком высока была бы стоимость этих образцов. К тому же, следует помнить и о том, что разных цветов бриллианты не могут достигать одинаково некоторых степеней насыщенности, поэтому, например, **фантазийный желтый** и **фантазийный голубой** – это цвета разных степеней насыщенности. Вот почему правильное определение цвета бриллиантов фантазийных цветов играет очень значительную роль при определении их стоимости, т.к. если все остальные классификационные признаки равны, то чем ярче и более насыщен цвет, тем выше цена бриллианта.

Чистота, масса и огранка бриллианта в данном случае менее существенны и лишь по-правляют цену в ту или иную сторону. Именно поэтому очень важны правильная трактовка и описание цвета, понимание того, насколько данный цвет является редким и фантазийным. Необходимо подчеркнуть, что именно понимание, а не просто желание иметь фантазийный цвет при его продаже, а это достигается обучением и опытом.

## ОГРАНКА

Оценка огранки ограненных алмазов в системе GIA традиционно подразделяется на оценку бриллиантов круглых форм и бриллиантов фантазийных форм.

Понятие огранки включает в себя две большие группы факторов: пропорции бриллианта и его финишная обработка. Пропорции бриллианта – это угол наклона короны (угол короны) и угол наклона павильона (угол павильона или глубина павильона) относительно плоскости рундиста, размер площадки, толщина рундиста, размер калетты, если она присутствует, размеры нижних граней рундиста и звездчатых граней, возможное превышение веса бриллианта относительно его размера (сравнивается вес реального бриллианта с весом бриллианта, который имел бы эти же размеры, но идеальную огранку), соотношение высоты бриллианта к его диаметру или ширине (в зависимости от формы бриллианта). Финишная обработка бриллианта – это качество полировки поверхности бриллианта и симметричность нанесенных на него граней. В зависимости от величины каждого из этих элементов огранки переходят к классификации огранки на группы или классы (примеры влияния некоторых элементов огранки на внешний вид бриллиантов показаны на рис. 4.32-4.36).

Бриллиант при изменении источника света и угла наблюдения может выглядеть по-разному, поэтому при оценке качества его огранки используются те же самые стандартные

условия наблюдения и то же оборудование, что и для определения чистоты и цвета бриллиантов. Эти условия и оборудование, как правило, стандартны и используются во всем мире.

Очень глубокий павильон бриллианта (рис. 4.32) приводит к затемнению его центральной части – области площадки. В итоге весь камень выглядит более темным, менее ярким. Бриллианты с глубокими павильонами выглядят менее привлекательными.

Средняя глубина павильона (рис. 4.33.) – бриллиант не имеет затемнений в центральной части. Бриллианты со средней глубиной павильона выглядят ярко и привлекательно.

Мелкий павильон (так называемый “рыбий глаз”) бриллианта (рис. 4.34) приводит к тому, что в его центральной части – по периметру площадки появляется «ободок» – это отражение рундиста бриллианта. «Игра» и яркость бриллианта с мелким павильоном также снижается. Бриллианты с мелкими павильонами выглядят менее привлекательными.

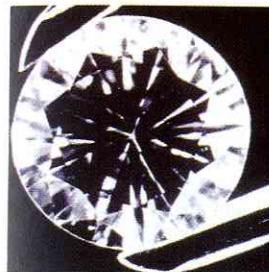


Рис. 4.32. Очень глубокий павильон бриллианта



Рис. 4.33. Средняя глубина павильона



Рис. 4.34. Мелкий павильон (так называемый “рыбий глаз”) бриллианта



Рис. 4.35. Большая (слева) и маленькая (справа) площадки бриллиантов

К тому же бриллианты с большой по размеру площадкой, имеют меньшую «игру», которая обычно заметна на боковых гранях.



Рис. 4.36. Очень толстый (слева) и очень тонкий (справа) рундист у бриллиантов

Разница в толщине рундистов скажется на массе бриллиантов и при закреплении бриллиантов в оправу.

Современный ювелирный рынок постоянно меняется и развивается. Доходы, стремления, вкусы и возможности потребителя возрастают. Алмазы, являющиеся сырьем для бриллиантовой промышленности, также постоянно растут в цене. Поэтому сегодня, как никогда остро, стоит вопрос о сохранении максимального веса исходного сырья. Но как этого добиться, если мы знаем, что пропорции ограненного алмаза имеют значение не сами по себе, а именно в качестве их возможности пропускать, преломлять и возвращать свет – только в этом случае бриллиант приобретает свой сверкающий вид. Поэтому во всем мире очень актуальным и открытым является вопрос о том, как изменить пропорции бриллианта, не теряя его красоты при этом.

В системе оценки бриллиантов по GIA выделяют пять групп, в основу которых положено современное представление ювелирного рынка о назначении огранки бриллианта. Эти группы: «Отлично», «Очень хорошо», «Хорошо», «Удовлетворительно», «Неудовлетворительно». Оценка огранки – не простое цифровое определение того или иного элемента, но и описание внешнего вида бриллианта в целом. Два бриллианта могут относиться к одной группе огранки, но при этом выглядеть по-разному. Дело здесь в том, что в каждой из групп огранки размер каждого из элементов – это всегда некоторый диапазон. Но один камень может иметь значения элементов пропорций, которые находятся строго в середине их числового диапазона, а у другого они могут быть близкими к границе со следующей или предыдущей группами. И подобная их комбинация может привести к тому, что внешний вид бриллианта в целом будет выглядеть иначе – как лучше, так и хуже, хотя, как мы уже сказали выше, – у обоих бриллиантов одна и та же группа оценки огранки. Исходя из этой особенности и многообразия различных вариантов комбинаций – а их действительно огромное количество, – GIA был предложен и введен дополнительный фактор оценки огранки – визуальная оценка внешнего вида бриллианта. Она дополнительно оценивает, насколько в целом бриллиант выглядит ярко, насколько четко выражена контрастность между его темными и светлыми областями – есть ли преобладание одной из них и как много цветных вспышек – спинтилляций – можно увидеть у бриллианта при данных его пропорциях. При введении этого дополнительного фактора, огранка, с точки зрения оценочного фактора бриллианта, учитывается теперь более полно. Для более полной и точной оценки каждого из элементов огранки разработаны таблицы, по которым они оцениваются. Также разработаны таблицы, с помощью которых можно более полно оценить сочетание основных элементов пропорций друг с другом и их влияние на внешний вид бриллиантов.

Оценка огранки бриллиантов фантазийных форм строится на основе определения тех же элементов пропорций, финишной обработки и визуальной оценки огранки бриллианта, что и у круглых форм, но имеет свои тонкости и особенности. Форма их отличается от круглой, следовательно, появляются новые элементы (рис. 4.37).

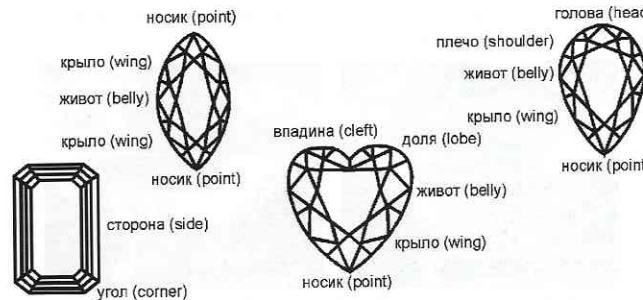


Рис. 4.37. Элементы бриллиантов фантазийных форм огранки.

При определении массы, чистоты и цвета бриллиантов фантазийных форм придерживаются тех же правил, требований и используют те же обозначения, что принятые и для бриллиантов круглых форм.

При оценке качества огранки бриллиантов фантазийных форм, основными параметрами остаются те же размер площадки, углы короны и павильона относительно плоскости рундиста, толщина рундиста, размер калетты (если она есть), симметричность нанесения граней и основных элементов, а так же качество полированной поверхности. Но вводятся еще и такие дополнительные критерии как привлекательность формы и соотношение длины к ширине. Привлекательность формы – это то, насколько точно огранщику удалось передать вид именно той формы, которую он выполнял, если оценивать ее по линии контура рундиста, про-сматривая через корону перпендикулярно плошадке бриллианта. Введение такого параметра, как соотношение длины к ширине, связано с тем, что разные формы наиболее привлекательно выглядят при различных отношениях длины к ширине. Определяется это отношение длини длины бриллианта на его ширину, а оценивается по соответствующим таблицам, рассчитанным для всех, наиболее часто встречающихся форм бриллиантов. Обращают внимание также на чрезмерную выпуклость или плоскость элементов форм, таких как крылья, плечи, яруса, доли, углы и т.д.

В целом, оценка огранки – совсем не простая процедура, как может показаться на первый взгляд. К тому же огранка – один из оценочных критерии бриллианта, а при определении каждого из элементов существуют свои тонкости, которые также требуют профессионального подхода и обучения ему, поэтому для качественного проведения оценки огранки необходимо также прохождение соответствующего обучения и закрепления его на практике.

#### 4.5. Оценка бриллиантов в оправах

Вне зависимости от того, находится ли бриллиант в ювелирном изделии или он еще не поставлен в оправу, перед экспертом всегда стоит одна и та же задача – определение ценообразующих факторов, т.е. определение 4-х «Си» бриллианта. Как мы уже рассматривали, определение каждого из этих факторов, – чистоты, цвета, качества огранки и массы – уже само по себе не является простым действием, а тем более, когда камень будет находиться в оправе, проблем только прибавится. Здесь эксперта подстерегают новые опасности, решать которые, не обладая определенными навыками в работе и опытом, еще сложнее. Любые оправы всегда создают дополнительные проблемы при оценке бриллианта, но при грамотном подходе к решению проблемы и они разрешимы.

Определяя чистоту бриллианта, всегда нужно принимать во внимание тот факт, что некоторые включения, а также поверхностные дефекты могут быть скрыты оправой, т.е. находиться под ее металлическими частями. Эксперту необходимо в этом случае сосредоточить все свое умение и внимание на поиске возможно скрытых оправой или ее отражениями характеристик чистоты – но и в этом случае нельзя быть уверенным в том, что под оправой не осталось какой-нибудь «точки», например. Поэтому, оценивая бриллианты, ни один опытный эксперт не поставит первые три-четыре группы чистоты – если вы помните, это камни чистые, без включений и поверхностных дефектов и камни, имеющие включения и поверхностные дефекты, но они столь малы и незначительны по размерам, что их обычно сравнивают с точками, т. е. как раз те размеры, что легко скрыть в оправе. В таких случаях эксперт предупреждает о том, что чистота бриллианта может оказаться выше, но для подтверждения и определения этого необходимо выкрепление бриллианта из оправы, чтобы все его участки были доступны для осмотра. Но, если некоторое включение уже обнаружено, то его чистота выше не окажется и в этом случае вопрос о выкреплении бриллианта для уточнения чистоты не стоит.

Оправа бриллианта усложняет и процесс определения его цвета. Конструкции самих оправ таковы, что они препятствуют полному просмотру камня со стороны павильона. К тому

же цвет драгоценных металлов, из которых изготавливают оправы – в основном это розовый, желтый, белый, но могут встречаться и некоторые другие, а также многочисленные оттенки этих цветов, всегда оказывают влияние на восприятие цвета бриллианта. Интересным является тот факт, что не всегда цвет бриллианта в оправе выглядит хуже, чем он есть на самом деле – он может казаться и лучше. Учитывая эти особенности восприятия цвета бриллианта в оправе, эксперты обычно придерживаются тех же рекомендаций, что и при определении чистоты. Т.е. первые три группы цвета не присваиваются бриллианту, когда он находится в оправе – это именно те группы цвета, оттенки в которых заметны только при просмотре через павильон бриллианта, что в оправе затруднительно выполнить. В таких случаях эксперт предупреждает о том, что цвет бриллианта может оказаться выше, но для подтверждения и определения этого необходимо выкрепление бриллианта из оправы, чтобы весь он был доступен для осмотра. Но, если некоторые оттенки уже обнаружены, то его цвет выше не окажется и в этом случае вопрос о выкреплении бриллианта для уточнения его цвета не стоит.

Насколько легко и точно удастся оценить качество огранки, зависит напрямую от стиля оправы – чем больше драгоценного металла и более закрытым оказывается бриллиант, тем сложнее просматривать элементы огранки. Сами элементы при этом остаются теми же самыми – пропорции и финишная обработка. Стоит упомянуть о том, что вопрос о выкреплении бриллианта с целью уточнения качества его огранки встает крайне редко.

Массу бриллиантов в оправах определяют расчетным способом по формулам, которые учитывают диаметр и высоту бриллианта, если он имеет круглую форму или ширину, длину и высоту бриллианта, если он имеет фантазийную форму. Правильность вычислений зависит от правильности измерений и основная сложность здесь заключена в первую очередь в стиле оправы – насколько легко позволяет она выполнить эти измерения или, наоборот, не позволит и затруднит процесс измерения. Не менее важным при вычислении массы является опыт геммолога и его умение увидеть и учесть те детали огранки бриллианта, которые могут, помимо величин диаметра, ширины, длины и высоты бриллианта, – повлиять на массу бриллианта – например, выпуклые или плоские крылья на некоторых бриллиантах фантазийных форм огранок и т.п. Если эксперт обнаруживает факторы, которые могли бы оказать влияние на изменение массы бриллианта, он предупреждает об этом и тогда, в некоторых случаях, для подтверждения и точного определения массы, необходимым становится выкрепление бриллианта из оправы. Но когда изменение веса не ожидается значимым или существенным, вопрос о выкреплении бриллианта для уточнения его массы не стоит.

Вот основной перечень проблем с которыми сталкивается эксперт, оценивая бриллианты в ювелирных изделиях. Самый точный результат всегда, безусловно, будет в тех случаях, когда бриллиант без оправы, а эксперт опытный и постоянно практикующий. Но всегда имейте в виду и следующее – для уточнения 4-х "Си" бриллианта при оценке его в оправе иногда встает вопрос о выкреплении – но делать это следует только в тех случаях, когда речь идет о действительно важных факторах, которые определят большую денежную разницу. Никому в голову не придет выкрепить бриллиант для уточнения например, массы 0,35 кар или 0,37 кар, цвета I или J, чистоты SI 1 или SI 2 и совсем другое дело, если речь идет о массе 0,98 кар или 1,00 кар, да к тому же чистоте VVS 1 или VVS2 и цвете D или F т. к. цель любой оценки в итоге определить цену, то в этом примере она может существенно измениться, поэтому и встанет вопрос о выкреплении бриллианта для уточнения этого. Но выкрепление бриллианта – это еще и риск для его целостности – всегда существует риск его возможного скальвания, поэтому проводить эту операцию следует только в тех случаях, когда этот риск действительно оправдан.

Рассмотрев практически все вопросы, связанные с диагностикой и оценкой бриллианта, можно подвести итоги. Итак, проведя диагностику предполагаемого бриллианта, далее обычно решается вопрос его возможного облагораживания, – решив эту задачу, переходят к определению цены бриллианта. Цена определяется на основании определенных классификационных признаков – или 4-х "Си" – т.е. массы, чистоты, цвета и огранки бриллианта.

В целом подход следующий – чем более редок фактор – тем выше и дороже оценивается бриллиант, но при условии равенства остальных факторов (более высокий цвет – всегда более высокая цена, но при одинаковых массе, чистоте и огранке; более крупный бриллиант – более высокая цена, но при одинаковых цвете, чистоте и огранке и т. д.). Для расчета цен в каждой стране разрабатывают Прейскуранты цен на бриллианты, которые отражают предлагаемый уровень цен и используя которые – определив уже вес, чистоту, цвет и огранку бриллианта, определяют его цену. Цена бриллианта в зависимости от массы, цвета и дефектности, как правило, указывается "за карат", поэтому цена каждого конкретного бриллианта определяется перемножением его массы на цену "за карат".

В России для расчета цен на бриллианты применяют Прейскуранты, разрабатываемые к Техническим Условиям на бриллианты.

Самым известным и популярным из зарубежных прейскурантов – прайс-листов, является Rapporport, издаваемый в США – но это не просто прайс-лист, а журнал, в котором рассматривается много и других вопросов и проблем, связанных с бриллиантами (издает этот журнал Martin Rapporport – отсюда и название прайс-листа, печатающегося в этом журнале).

#### 4.6. Облагораживание природных алмазов по цвету и чистоте

##### Облагораживание по цвету

Как было сказано в предыдущих главах, теоретически идеальный алмаз должен быть бесцветным. Но такие алмазы редки, как правило, небольшой оттенок имеется, причем он может быть настолько слабым, что его видят только тренированный глаз эксперта. Наличие у алмаза и, соответственно, у бриллианта различных окрасок связано с вхождением в структуру алмаза элементов-примесей, наличием дефектов в структуре. В зависимости от интенсивности окраски алмазы можно условно разделить на традиционно ювелирные – алмазы со слабой окраской и окрашенные, среди которых лишь незначительную часть составляют алмазы так называемых фантазийных цветов, окрашенные в яркие чистые цвета. В свою очередь среди окрашенных большое количество дымчато-коричневых алмазов, цвет которых с одной стороны, непривлекателен сам по себе, с другой стороны, эта окраска, как правило, неоднородная. Эти алмазы в основном и подвергаются облагораживанию с целью получения более привлекательного цвета или ослабления коричневого.

##### Облучение

Первые работы по изменению цвета алмаза относятся к началу XX века и связаны они с получением зеленой окраски. Зеленая природная окраска алмаза связана с радиоактивным облучением. Облучая в лаборатории алмазы, можно получить цвет, схожий с природным, что и было сделано впервые в 1904 году. Алмаз облучали солями радия. Зеленая окраска, полученная таким способом, была неравномерная, кроме того, образовывались радиоактивные долгоживущие изотопы из-за чего длительное время сохранялась остаточная радиоактивность.

В настоящее время алмазы облучают в циклотронах и ядерных реакторах, окраска получается более равномерной, а остаточная радиоактивность сохраняется очень короткое время (это время алмаз выдерживается в специальных контейнерах). Алмазы типа Ia физической классификации, бесцветные до облучения, окрашиваются в различные оттенки голубого и зеленого цвета. Их спектр поглощения определяется в основном полосой GR1, на коротковолновой стороне которой, кроме того, проявляется система 470 нм с дополнительным поглощением в диапазоне 430-550 нм, которое придает окраске алмаза зеленоватый оттенок. На окраску алмаза влияет также положение края поглощения алмаза до облучения. В зависимости от концентрации дефектов A и B1 положение края поглощения меняется от 240 до 300 нм. Положение края поглощения также влияет на преобладание голубой или зеленой компоненты в конечном цвете облученного алмаза. В большинстве случаев приобретаемая окраска выглядит вполне привлекательно, и это обстоятельство лежит в основе широко используемого метода радиационного изменения цвета ограненных алмазов низких цветовых

характеристик. Визуально такие камни выглядят равномерно окрашенными, цвет голубово-зеленый, сине-зеленый.

Облучение алмазов типа Ia приводит к окрашиванию в голубой цвет, причем, чем выше интенсивность облучения, тем более интенсивна голубая окраска. Центром окраски в этом случае также является дефект GR1[1]. Основным недостатком этого метода является низкая температурная граница устойчивости дефекта GR1. При температурах отжига около 600°C происходит обесцвечивание алмаза. Выявление факта «облагораживания» основано на появлении при облучении зональности окраски. Если камень внимательно изучить под микроскопом, можно увидеть характерную зональность, так называемый «эффект зонтика», вблизи калетты бриллианта (рис. 4.38). Кроме того [16], возможно сгущение окраски в отдельных зонах.

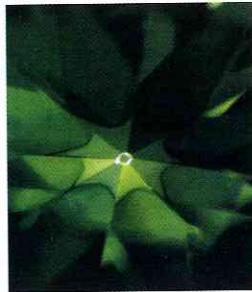


Рис. 4.38. Зональность вокруг калетты облученного ограненного алмаза («эффект зонтика») [16].

Если доза облучения достаточно велика или облучение производится длительное время, камень окрашивается в настолько темно-зеленый цвет, что визуально он выглядит черным.

#### Тепловая обработка

В конце 90х гг. компания Дженерал Электрик запатентовала новый метод облагораживания алмазов – НРНТ (от англ. “High pressure high temperature”) – т.е. нагрев в условиях высокого давления. Такой обработке подвергают преимущественно коричневые алмазы, чтобы получить бесцветные, желто-зеленые, оранжевато-коричневые, розовые, голубые, черные. Изменение цвета происходит за счет трансформации дефектов, входивших в структуру алмаза. И, таким образом, эффект обработки зависит от дефектно-примесного состава исходных алмазов. В процессе НРНТ-обработки с началом отжига пластических деформаций атомы-примеси, связанные с дислокациями, освобождаются, и в кристаллической структуре появляется огромное количество свободных дефектов – вакансий, собственных и примесных междуузельных атомов [1]. В принципе возможно образование самых разнообразных дефектов всевозможных конфигураций, однако, большая часть из них тут же распадается, так как они неустойчивы при данных Р, Т – условиях. К числу относительно устойчивых следует отнести Н3, Н4, Н2, Н3, А и В1. Действительно при Т=2100°C образуются дефекты Н3 и Н4, увеличивается концентрация дефектов А и В1, а концентрация дефектов Н3 не меняется. При дальнейшем повышении температуры отжига концентрация дефектов Н3 возрастет, одновременно сильно возрастает концентрация дефектов Н3 и Н4, обуславливая яркую желтую окраску алмаза. Выявление в спектрах поглощения одновременно дефектов Н3 и Н4 является одним из признаков НРНТ-обработки, так как в природных алмазах не подвергавшихся «облагораживанию» эти два дефекта одновременно не встречаются (рис. 4.39).

Для проведения такой обработки алмазы помещают в специальную камеру, заполненную веществом, которое равномерно передает давление, прикладываемое к камере. Обычно таким веществом служат хлорид или бромид щелочных металлов. Использование этих солей позволяет легко извлечь алмазы после обработки – соли растворяют в горячей воде. Нагрев камеры осуществляется ступенчато, например, по такой схеме:

до 2200-2300°C в течение 1 часа;

выдержка при 2300°C не более 4 часов;  
выдержка при 2100°C в течение 1 часа.

При этом давление составляет 6,9-8,5 ГПа. Кроме того, возможна комбинированная обработка: после проведения отжига при высоком давлении алмазы подвергают облучению потоком высоконергетических электронов и затем – высокотемпературному отжигу без давления (НРНТ + βНТ). После отжига большинство алмазов, относящихся к типу Ia по физической классификации, приобретают желто-зеленый цвет, остальные – красный различной интенсивности. Желто-зеленая окраска связана с поглощением в полосе 470 нм, эта полоса простирается от 430 до 550 нм.

Она возникает сразу после облучения и усиливается в результате отжига. Красный цвет кристаллов обусловлен поглощением в системе 638 нм, связанной с появлением дефектов (N-V). βНТ-обработка приводит к уменьшению интенсивности коричневой окраски алмазов. Кристаллы, имевшие исходный светло-коричневый цвет, становятся желто-зелеными и коричневого нацвета в окраске при этом не наблюдается.

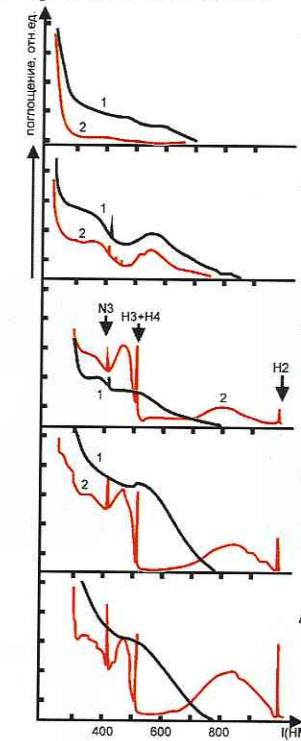


Рис. 4.39. Спектры поглощения алмазов в УФ-видимой области до (1) и после (2) НРНТ-обработки:  
а) тип Ia (криスタллы «обесцветились»); б) тип Ia (стал светло-розовым); в-д) тип Ia [1].

Таким образом, при проведении βНТ-обработки могут происходить следующие изменения окраски алмазов:

- кристаллы, содержащие B2-дефекты, окрашиваются в желто-зеленый цвет;
- кристаллы, содержащие A-дефект и не содержащие дефекты B2 и C, окрашиваются в красный цвет;

– уменьшается интенсивность коричневой окраски за счет уменьшения концентрации дислокаций.

Обесцвечивание коричневых алмазов возможно в том случае, если в качестве исходных взяты алмазы с пониженным содержанием азота или безазотные. Выдержка алмаза в названных условиях приводит к частичному или полному снятию пластических деформаций структуры, которые собственно и вызывают появление коричневой окраски [12, 17, 25].

Желто-зеленый цвет, как и другие (кроме голубого) получают при обработке алмазов содержащих азот в той или иной форме.

В зависимости от дефектно-примесного состава исходных алмазов можно получить розовый цвет с различными дополнительными оттенками: желтым, коричневатым, оранжевым, сиреневым [28].

В качестве общих визуальных признаков наличия HPHT обработки можно назвать следующие:

- Изменение вида включений – наличие радужных ободков, графитизация по трещинам (рис. 4.40);
- Появление большого количества трещин по спайности, достигающих поверхности;
- Протравленная поверхность «найфов» (рис. 4. 41);
- Характерный желто-зеленый цвет и неравномерное распределение фотолюминесценции (рис. 4. 42);
- Напряжения второго порядка в узорах аномального двупреломления «татами» (такой узор, свойственен алмазам с пониженным содержанием азота – тип IIa по физической классификации, но в алмазах не подвергавшихся HPHT-обработке порядок напряжения первый) в бесцветных бриллиантах и соответствующий им бесцветный грейнинг, создающий общий слегка затуманенный вид.



Рис. 4.40. Радужный ободок вокруг включения в HPHT обработанном алмазе [16].

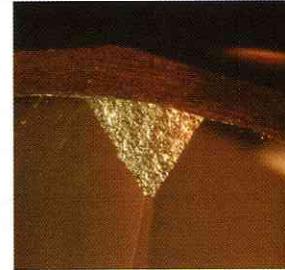


Рис. 4.41. Характер поверхности «найфа» в HPHT обработанном алмазе [28].



Рис. 4.42. Характерная желтовато-зеленая фотолюминесценция в HPHT обработанных алмазах [28].

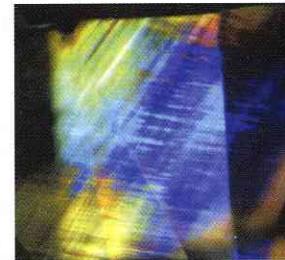


Рис. 4.43. Узор «татами» в HPHT обработанном алмазе [16].

В сложных случаях наличие облагораживания выявляется по наличию в спектрах поглощения в видимой – ближней ИК-области линий, которые не встречаются в алмазах с природной окраской или характеризуются значительно более высокой интенсивностью, чем это встречается в природных алмазах. В частности, это появление широкой полосы 470 нм [1] в желто-зеленых алмазах, полоса 638 нм – в красных алмазах, увеличение интенсивности полос, связанных с наличием дефектов H3 и H4 в красных алмазах, цвет которых является результатом обработки. В ближней ИК-области появляется полоса 986 нм.

#### **Нанесение покрытий**

Изменение цвета алмаза с помощью покрытия, нанесенного преимущественно на павильон известно очень давно. Сейчас технология нанесения покрытий стала более совершенной, покрытия – более тонкими (рис.4.44)[20].

Новая технология нанесения покрытий разработана Serenity Technologies. С помощью этой технологии получают алмазы различного цвета: фиолетовые, розовые, зеленые, желто-оранжевые. В состав покрытия как основной компонент входит  $\text{SiO}_2$ , металлы и оксиды металлов присутствуют в качестве допирующих примесей. Au и/или Ag являются основной примесью в покрытиях пурпурно-розового, голубого и желтого цвета; Fe характерно для оранжевых покрытий. Толщина покрытия менее 60 нм. Такая малая толщина затрудняет диагностику покрытия стандартными методами, в частности методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) и инфракрасной спектроскопии. При использовании (КР) спектроскопии выжигаемая ямка имеет глубину значительно большую, чем толщина покрытия и сигнал от покрытия получить невозможно. С помощью электронной микроскопии тем не менее был установлен состав покрытий.



Рис. 4.44. Ограненные алмазы с покрытиями [20].

**Розовое покрытие.** Получается при нагреве допированной золотом пленки. Наложение слоев создает приятный розовый цвет. **Голубое покрытие.** По мере увеличения содержания серебра в кремнекислородной пленке растет поглощение света в красной области спектра, придавая камни голубой цвет. **Желтое покрытие** также содержит в своем составе ионы серебра. **Оранжевое покрытие**, в отличие от вышеперечисленных пленок, где основным компонентом является оксид кремния, здесь основной компонент – оксид железа, создающий красно-коричневые цвета, в тонкой пленке, выглядящие как оранжевые.

Естественно, когда разговор идет о покрытиях, возникает вопрос насколько они прочные. Алмазы с покрытиями Serenity подвергали разным видам воздействий.

1. Очистка. Они выдержали без повреждений очистку паром, отбеливание, нарушение покрытия произошло только при кипячении в серной кислоте в течение 30 минут.
2. Устойчивость к царапанию. Повреждаются при воздействии любых абразивных материалов.
3. Устойчивость при ремонте ювелирного изделия, перезакрепке и других операциях.

При повышении температуры до 500 град. повреждений не наблюдается, при более высоких температурах появляется мутноватость, облачность. При перепаивании крапанов может произойти изменение цвета, очевидно, при одновременном воздействии высокой температуры и химикатов, используемых при пайке. Повреждения покрытия могут иметь место при закрепке.

Для диагностики наличия покрытия необходимо использование микроскопа. Т.к. покрытие наносится только на павильон (а иногда только на отдельные его грани), то для его выявления важно иметь возможность просмотреть камень со всех сторон. Используя рассеянный отраженный и проходящий свет, можно увидеть на поверхности павильона интерференционные цвета, возникающие на границе раздела алмаз/покрытие. На камнях с оранжевым покрытием наблюдаются белесые полоски, создающие впечатление, что камень нужно почистить. В розовых камнях с покрытием отсутствует грейнинг, характерный для алмазов с природной розовой окраской. Дополнительно, если есть возможность можно использовать прецизионные методы исследования, такие как электронная микроскопия и др.

#### Облагораживание алмазов по чистоте

Большинство алмазов имеют включения и трещины различного размера от едва заметных до крупных, видимых невооруженным глазом. Некоторые включения могут быть удалены во время огранки или попасть в области, где их трудно обнаружить. Другие крупные включения невозможно не заметить. Улучшить видимую чистоту, в таком случае, можно используя тончайшие каналы, «просверленные» лазером.

Практика «сверления» тончайших каналов для достижения темных включений, не выходящих на поверхность, начала использоваться в начале 1970х гг. Посредством этого воздействия включения можно расплавить лазером и, таким образом, выпарить его, обесцветить или растворить кислотой. В результате оно становится менее заметным.

Обнаружить следы лазерного «сверления» можно, используя стандартное 10x увеличение. В поперечном сечении его следы обычно имеют круглую форму.

Другой вид лазерного «сверления» не имеет начала на поверхности. Фокусируя луч лазера на включении, добиваются его расширения. При этом возникает напряжение в структуре алмаза и образуются узкие трещины, достигающие поверхности. Через них можно воздействовать на включение кислотой.

Для выявления такого вида обработки камень изучают в различных положениях, освещая его под разными углами. Трещины не всегда хорошо видны, под некоторыми углами они выглядят прозрачными. Иногда можно заметить каналы, не достигающие поверхности, они могут быть прямолинейными и волнистыми, извилистыми. Такие каналы не встречаются в не облагороженных алмазах. В сочетании с извилистыми каналами может также появиться сеть ступенчатых трещин.

Другим способом улучшения видимой чистоты является заполнение трещин. На сегодняшний день это самый популярный вид облагораживания по чистоте. При этом трещины заполняются расплавленной массой, представляющей собой стеклоподобный материал, содержащий свинец и, иногда, висмут. Хлориды и хлориты свинца и висмута имеют очень высокие показатели преломления, приближающиеся к показателю преломления алмаза, и их добавка в массу, заполняющую трещины приводит к тому, что трещины становятся практически невидимыми (рис. 4.45) [19].

Для выявления факта заполнения трещин используется геммологический микроскоп с освещением методом «темного поля», при наблюдении в котором в алмазах с заполненными трещинами обнаруживается так называемый «флеш-эффект» (эффекта цветных вспышек). При просмотре заполненных трещин на фоне темных участков камня в них хорошо видна желтовато-оранжевая интерференционная окраска, которая меняется на яркую голубую при небольшом повороте камня так, чтобы трещины можно было просмотреть на фоне светлых участков камня (рис. 4.46).

Кроме флеш-эффекта следует отметить такие характерные особенности алмазов с заполненными трещинами как наличие структур течения, газовых пузырей в материале заполнителя и, иногда, сетки трещинок в заполнителе.

От желто-оранжевого флеш-эффекта следует отличать оранжево-коричневые пятна, связанные с эпигенетическим ожелезнением по трещинам. Цвет этих трещин не меняется как бы не поворачивали камень и как бы его не освещали.

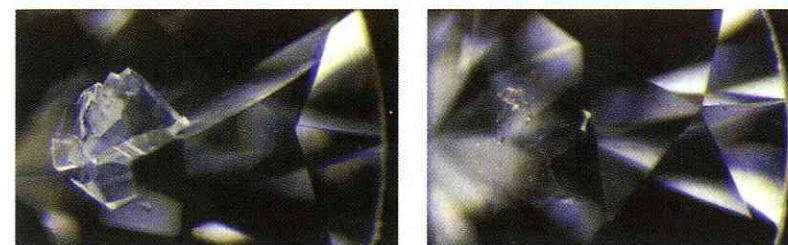


Рис. 4.45. Пример изменения внешнего вида бриллианта при заполнении трещин:  
а – до и б – после заполнения трещин [19].

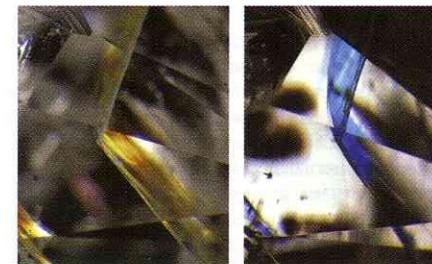


Рис. 4.46. Флеш-эффект в бриллиантах с заполненными трещинами: а – на темном фоне, б – на светлом фоне [19].

## 4.7. Синтетические алмазы

Первые попытки синтезировать алмаз были осуществлены еще в XIX веке. Состав алмаза уже был известен, поэтому не вызывал сомнений возможный состав сырья: уголь, графит, органические вещества, которые при химических реакциях разлагаются с выделением углерода (например, парафин при нагревании с щелочными металлами). Но кроме сырья необходимо было обеспечение специфических параметров – высоких температуры и давления. Уровень развития техники этого времени не давал возможности достичь необходимых значений этих параметров. Развитие аппаратов высокого давления, необходимых для синтеза алмаза, связано с именем П. Бриджмена. Он установил, что для перехода графита в алмаз помимо высокого давления необходима высокая температура [6]. В его опытах при давлении около 425000 атм при комнатной температуре и при 70000 атм при температуре красного каления превращения графита в алмаз не происходило. В 1941 году при финансовой поддержке компаний «Нортон» и «Дженерал электрик» Бриджмен приступил к осуществлению проекта синтеза алмаза при высоких температурах (3000°C и 30 000 атм). Четыре года продолжались опыты, но получить синтетические алмазы не удалось.

Наконец, в 1955 году группа исследователей из компании «Дженерал электрик» представила отчет об успешном синтезе алмаза. Позднее исследователи из Швеции (компания ACEA) заявили, что они синтезировали алмаз еще в 1953 году, но результаты их работ не

были опубликованы и пальма первенства досталась компании «Дженерал Электрик». Человеком, который первым осуществил синтез алмаза, был Трейси Холл. Он разработал проект системы «халфбельт», которая стала первым шагом к созданию знаменитых камер высокого давления «белт». Детали системы были изготовлены из карбида вольфрама, это позволило создать давление в 120 000 атм при 1800°C. 16 декабря 1954 года были получены первые синтетические алмазы. 31 декабря 1954 годы синтез был подтвержден Хью Вудбери и 15 февраля 1955 года об этом было сообщено прессе. Это и было тем самым подтверждением независимым исследователем, которого не хватило шведской компании. Для синтеза использовался катализатор – железо, который играет роль растворителя и значительно повышает скорость растворения графита. Согласно патенту «Дженерал электрик» [6] состав шихты в реакционной камере был следующий: 5 частей графита, 1 часть железа, 1/3 части марганца и 1/3 части пятиокиси ванадия. Эту смесь запечатывали и нагревали до 1700°C под давлением 90 000 атм в течение 2 минут, затем охлаждали в течение 8 минут до 1500°C. С тех пор проводилось много работ по исследованию состава шихты, и сегодня синтез проводится в расплаве железа с добавлением никеля, кобальта и других переходных металлов. В качестве питающего вещества используется порошок синтетического алмаза, так как графит имеет меньшую плотность (2,27), чем алмаз (3,52) и его требуется больше в пересчете на единицу массы. Кроме того, при переходе графита в алмаз происходит уменьшение объема, что ведет к уменьшению давления, а это сильно замедляет скорость роста алмаза и усложняет контроль над процессом.

Метод прямого перехода графит → алмаз по сравнению с методикой выращивания из расплава, требует более экстремальных условий: синтез осуществляется за доли секунды при сверхвысоких давлениях и температурах. Получаемые кристаллы алмаза слишком малы (0,000004-0,00016мм), чтобы использоваться в каких-либо отраслях техники.

Метод, используемый компанией «Дженерал Электрик» (на сегодняшний день он является наиболее распространенным) называют методом температурного градиента. В верхней части ростовой камеры при более высоких температурах находится питающее вещество (порошок синтетического алмаза). Расплавленный металл катализатор заставляет атомы углерода из питающего вещества переходить в раствор в нагретой зоне [22], оказавшись в растворе, атомы углерода свободно мигрируют в сторону слегка охлажденного конца камеры, где находятся мелкие природные или синтетические кристаллы-затравки. Углерод из расплава кристаллизуется на затравках и, таким образом, осуществляется рост крупного кристалла синтетического алмаза (рис. 4.47).

Компания Де Бирс начала работы по синтезу алмаза в конце 1950-х гг. и в 1970-х гг. эта компания выращивала крупные кристаллы синтетического алмаза ювелирного качества. Компания Де Бирс также использовала для синтеза метод температурного градиента, но камера была усовершенствована так, чтобы можно было выращивать одновременно несколько кристаллов. Условия синтеза следующие: T=1100-1700°C, P=50-100 кбар [22].

Рис. 4.47. Аппарат типа Belt для синтеза алмазов

- 1 – питающее вещество – алмазный порошок;
- 2 – расплав металлов – флюс;
- 3 – растущий кристалл алмаза;
- 4 – затравочный кристалл алмаза;
- 5 – нагревательный элемент;
- 6 – разделяющая стенка;
- 7 – дно камеры;
- 8 – изолирующая и проводящая давление среда [22].

С апреля 1985 года синтез алмаза успешно осуществляется японской компанией Сумитомо Электрик.

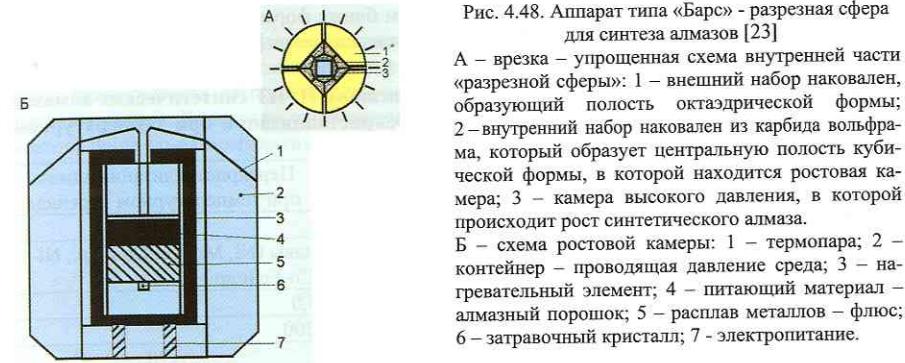


Рис. 4.48. Аппарат типа «Барс» - разрезная сфера для синтеза алмазов [23]

А – врезка – упрощенная схема внутренней части «разрезной сферы»: 1 – внешний набор наковален, образующий полость октаэдрической формы; 2 – внутренний набор наковален из карбида вольфрама, который образует центральную полость кубической формы, в которой находится ростовая камера; 3 – камера высокого давления, в которой происходит рост синтетического алмаза.

Б – схема ростовой камеры: 1 – термопара; 2 – контейнер – проводящая давление среда; 3 – нагревательный элемент; 4 – питающий материал – алмазный порошок; 5 – расплав металлов – флюс; 6 – затравочный кристалл; 7 - электропитание.

В России первые крупные и качественные монокристаллы синтетического алмаза были получены в Новосибирске группой технологов КТИ монокристаллов под руководством Б.Н. Фейгельсона в 1990г. [17, 2]. Для синтеза алмазов использовался (и продолжает использоваться) беспрессовая аппарата высокого давления типа «разрезная сфера» или БАРС (рис. 4.48) [15]. В этом типе аппаратов давление прикладывается с помощью двух наборов наковален. Внешний набор состоит из 8 наковален и создаваемая им полость имеет форму октаэдра. Внутри находится набор из шести дополнительных наковален, которые создают центральную полость кубической формы, в которой и находится ростовая камера. Эти наборы наковален находятся внутри двух полусфер – отсюда и название «разрезная сфера». Условия синтеза следующие: T=1350-1700°C, P=55-65 кбар, в качестве катализатора используются железо, никель, марганец и другие переходные металлы. Таким образом, условия синтеза в аппаратах «БАРС» аналогичны условиям, используемым в аппаратах «Белт», но малые размеры ростовой камеры ограничивают возможный размер получаемого кристалла синтетического алмаза. Современный уровень технологии позволяет устойчиво выращивать на аппаратуре «БАРС» монокристаллы ювелирного качества размерностью: 5-6 карат – для алмазов типов I<sub>b</sub> и I<sub>b</sub>-Ia ярких фантазийных желтых и оранжево-желтых цветов; до 4 карат – для алмазов типа Ia; и также до 4 карат – для алмазов типа I<sub>b</sub> фантазийного голубого (с оттенками) цвета. Большинство физических характеристик получаемых синтетических алмазов зависит от условий их выращивания (табл. 4.12).

Следует отметить, что в случае алмазов, выращенных в никельсодержащих металлах – углеродных системах в окраске присутствует зеленая компонента, которая вызывается поглощением примесными никелевыми дефектами. Никелевые дефекты – одни из важнейших дефектов кристаллической решетки синтетических алмазов. Они проявляется в спектрах поглощения в виде системы 658,4 нм, в катодо-, рентгено- и фотолюминесценции [1, 5].

Основное достоинство метода перекристаллизации при температурном перепаде (ТП) по сравнению с методом синтеза из графита – возможность реализации меньших скоростей роста алмазов и, как следствие, получение более совершенных кристаллов. Такие кристаллы содержат меньшее количество макродефектов, которые можно наблюдать в микроскопе. В них значительно ниже концентрации азотных и никелевых дефектов.

#### Форма кристаллов и характер поверхности граней синтетических алмазов.

Кристаллы синтетического алмаза имеют чаще всего комбинационную форму с гранями куба, октаэдра и ромбододекаэдра, иногда на них развиты грани тригонтиоктаэдра.

Простые формы могут быть проявлены в разной степени. Форма кристалла синтетического алмаза зависит от параметров синтеза, причем температура влияет на форму значительно сильнее, чем давление. При относительно низких температурах синтеза на кристалле

преобладают грани куба, чем выше температура, тем ближе форма кристалла к октаэдрической, хотя небольшие грани куба сохраняются практически всегда [17].

**Таблица 4.12. Основные параметры кристаллизации НРНТ синтетических алмазов полученных методами синтеза из графита и перекристаллизации при температурном перепаде (градиенте)**

Параметры процесса	Синтез алмаза из графита	Перекристаллизация алмаза при температурном перепаде
Источник углерода	Графит	Алмаз
Растворитель	Переходные металлы и их сплавы (Ni, Mn, Fe, Co и др.; Ni-Mn, Fe-Ni, Co-Fe и др.)	
Давление, ГПа	$\geq 5,0$	
Температура, °С	$\geq 1200$	
Температурный градиент, град/мм	До 100 и более	$< 20$
Продолжительность процесса	Секунды, минуты Часы, сутки	Часы, сутки
Массовая скорость роста, мг (мм <sup>2</sup> хс)	$10^{-2} \text{--} 10^4$	$10^4 \text{--} 10^6$ и менее
Размер кристаллов	Обычно доли мм (до 0,01-0,02 карата)	От долей до более 10 мм (до 14,2 карата и более)

Если синтез осуществляется в присутствии никеля, на кристаллах присутствуют небольшие грани ромбододекаэдра, в присутствии кобальта появляются грани тригонтиооктаэдра [18]. Кристаллы синтетического алмаза имеют плоские грани, острые ребра и вершины (рис. 4.49). Такая форма связана с одной стороны с тем, что процесс синтеза является контролируемым, а с другой стороны он является ограниченным во времени, и синтетические алмазы не подвергаются тем воздействиям, которые возможны в природных условиях. При детальном изучении поверхности граней синтетических алмазов можно наблюдать различные формы микрорельефа, причем все они свойственны только синтетическим алмазам. Скульптуры на их гранях преимущественно положительные. Это может быть дендритоподобный рельеф, штриховки, треугольные пирамидки.



Рис. 4.49. Синтетические алмазы (масса кристаллов 0,53-1,07 кар., масса ограненных алмазов 0,16-0,24 кар.) [18]

### Окраска

Наиболее часто синтетические алмазы окрашены в желтый, желтовато-коричневый, лимонный цвета. Реже удается синтезировать бесцветные или голубые кристаллы. Желтая окраска синтетических алмазов связана с присутствием в них азота в виде одиночных замещающих атомов. Кристаллы синтетического алмаза имеют секториальное строение и разные сектора роста по-разному активны к захвату примесей (рис. 4.50).

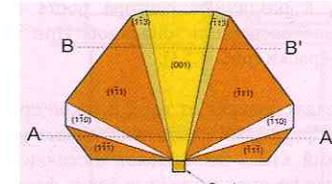


Рис. 4.50. Секториальное строение кристалла синтетического алмаза [29].

По степени активности к захвату примесей можно расположить сектора роста в следующем порядке: октаэдрические {111} – кубические {100} – тригонтиооктаэдрические {113} – ромбододекаэдрические {110}. Никель и кобальт также захватываются при росте и образуют оптически активные центры, но они захватываются только секторами {111}.

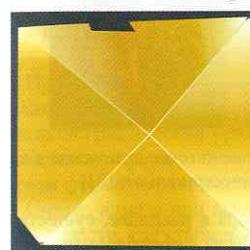


Рис. 4.51. Радиально-лучистая зональность окраски синтетического алмаза [23].

В низкоазотных синтетических алмазах никель обуславливает зеленый цвет. Голубые синтетические алмазы с примесью бора выращиваются с использованием химических ловушек, понижающих уровень содержания азота, при этом бор вводится в ростовую камеру. Содержание бора, как и азота, максимально в секторах {111}, за ними следуют сектора {110}, {100} и {113}. Вследствие этого в окрашенных синтетических алмазах, как правило, окраска имеет зональное распределение. Характер зональности зависит от ориентации затравки, а также от того какой участок кристалла рассматривается. Это может быть радиальная зональность, столбчатая, в виде песочных часов и др. (рис. 4.51).

### Грейнинг

Грейнинг – общий термин, используемый некоторыми авторами [16] для описания видимых характеристик роста – линейных, угловатых и других, которые можно наблюдать как на поверхности ограниченного камня, так и внутри него. Как правило, поверхностный грейнинг хорошо соотносится с внутренним. Предполагается, что внутренний грейнинг связан с наличием небольших различий в значениях показателей преломления в соседних секторах роста. Эти различия связаны с различным содержанием примесей в соседних секторах [16, 14], соответственно и форма грейнинга соответствует цветовой зональности (рис. 4.52).

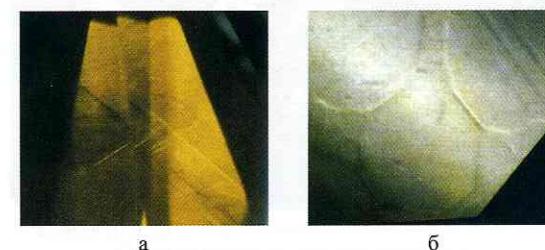


Рис. 4.52. Внутренний грейнинг в форме «песочных часов» (а), поверхностный грейнинг (б) [23].

### Флюoresценция

Флюoresценция характерна для большинства синтетических алмазов. Наиболее интенсивно она проявляется при освещении коротковолновым УФ (254 нм). У многих синтетических алмазов наблюдается фосфоресценция – свечение после выключения источника возбуждения флюoresценции, длительностью до 1 минуты. Цвет флюoresценции преимущественно желто-зеленый. Так как наличие флюoresценции связано с присутствием дефектно-примесных центров, а различные сектора роста содержат разное количество дефектов, то распределение флюoresценции зональное. При этом зональность аналогична зональности в распределении окраски (рис. 4.53).

### Включения

Включения в любых минералах зависят от того, в какой среде рос данный минерал. Алмаз не является исключением. Природный алмаз захватывает мелкие кристаллики растущих рядом минералов. Синтетический алмаз захватывает частички флюса – металлические пластины, иголочки, бесформенные не проплавленные зерна флюса и мельчайшие его частички. В отраженном свете эти включения ярко блестят (рис. 4.54).



Рис. 4.53. Радиально-лучистая зональность, проявленная в фотоволюминесценции синтетического алмаза.[23]



Рис. 4.54. Металлические включения в синтетическом алмазе.[23]

Кроме методов прямого перехода и кристаллизации из раствора в расплаве, существует метод получения синтетических алмазов осаждением из газовой фазы – chemical vapor deposition – CVD. До недавнего времени этим методом удавалось получать только тонкие пленки. Их получали на кремниевых, германиевых и других подложках. Пленки толщиной в несколько микрон служили, в частности, для упрочнения поверхности, а иногда для изменения свойств материала, на который они нанесены. В основном это были поликристаллические пленки. В 2003 году фирма Apollo Diamond сообщила о синтезе методом CVD монокристаллов алмаза пригодных для дальнейшей огранки в бриллианты (рис. 4.55).



Рис. 4.55. Ограненные синтетические алмазы, полученные методом осаждения из газовой фазы.[27]

Существует несколько модификаций этого метода синтеза [ 9, 18 ]. Наиболее распространенный метод состоит в следующем. Углеродсодержащий газ (чаще всего метан в смеси с водородом) подается в реакционную камеру, где под воздействием высокотемпературной плазмы его молекулы разрушаются. При температуре 800-1000 град. происходит кристаллизация углерода на субстрате (рис. 4.56).

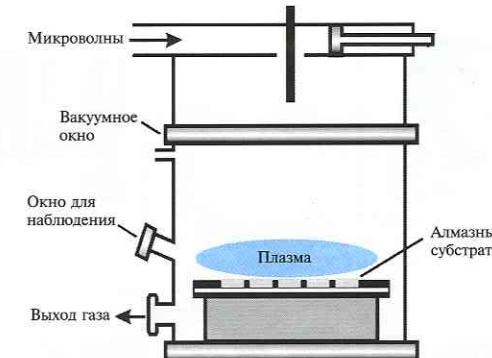


Рис. 4.56. Схема аппарата для синтеза алмазов методом осаждения из газовой фазы (CVD) [27]

При выращивании тонких пленок в качестве субстрата использовались металлы и кремний. В этом случае пленка получалась поликристаллическая в связи с разной кристаллографической ориентацией ядер кристаллизации в субстрате. Для получения таким методом монокристаллов используется подложка (субстрат) из монокристалла алмаза, причем форма выращиваемого кристалла зависит от ориентации подложки.

Синтез алмаза при высоких температуре и давлении ( $T=1400$  град.,  $P=55$  кбар) происходит в области, где стабильной формой углерода является алмаз. В условиях низких давлений, при которых происходит осаждение из газовой фазы, алмаз метастабилен. Это означает, что нельзя исключать возможность спонтанной кристаллизации графита. Чтобы избежать этого, смеси газов обогащают водородом, который подавляет образование графита.

Сейчас монокристаллы алмаза выращивают на подложках из СА, которые вырезаны в виде пластин под некоторым углом к плоскости куба. Было выявлено, что наращивание пленок на октаэдрическую грань проблематично, т.к. в этом случае имеется тенденция к образованию двойников. Образцы, включающие двойники, трудно полировать, они имеют склонность к растрескиванию и скальванию, а также обладают худшими оптическими качествами. Большая часть CVD алмазов растет на поверхностях близких по ориентации к (110), а октаэдрические грани образуются на вершинах кубов. Получаемые кристаллы синтетического алмаза часто имеют заметный коричневый оттенок и подвергаются впоследствии облагораживанию. Если в реакционную камеру введен бор, кристаллы синтетического алмаза приобретают голубую окраску. В поперечном сечении пластины явно видна цветовая зональность. Свойства синтетических алмазов, полученных методом CVD, заметно различаются в зависимости от направления, в котором исследуется кристалл: параллельно направлению роста или перпендикулярно нему. На рентгенотопограммах пластин, вырезанных параллельно направлению роста (рис. 4.57) видно волокнистое строение (дислокационный рост), причем хорошо видна граница раздела субстрат/алмаз (рис. 4.58). На топограмме пластины вырезанной перпендикулярно направлению роста (рис. 4.59) видны скопления темных пятен – предполагается, что это – выходы пучков дислокаций.

Флюoresценция синтетических алмазов, полученных методом CVD, оранжевая и наблюдается как при освещении коротковолновым УФ, так и длинноволновым. В распределении интенсивности флюoresценции видна тонкая полосчатость, происхождение которой стано-

вится понятным, если обратиться к схеме роста CVD алмазов – здесь показано, как эта полосчатость или зональность образуется (рис. 4.60).

Включения в синтетических алмазах, полученных методом CVD, редки. Методом спектроскопии комбинационного рассеяния установлено, что иногда наблюдаемые группы точечных включений представлены углеродной фазой, структура которой [8] пока не установлена.



Рис. 4.57. Рентгенограмма синтетического алмаза, полученного методом CVD, в направлении, параллельном направлению роста кристалла. [27]



Рис. 4.58. Рентгенограмма синтетического алмаза, полученного методом CVD, в направлении, параллельном направлению роста кристалла с ясно видимой границей субстрат/кристалл. [27]

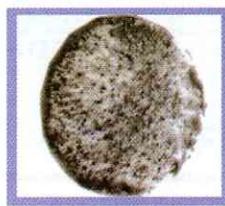


Рис. 4.59. Рентгенограмма синтетического алмаза, полученного методом CVD, в направлении, перпендикулярном направлению роста кристалла. [27]

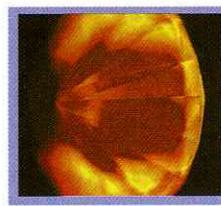


Рис. 4.60. Фотолюминесценция синтетического алмаза, полученного методом CVD. [27]

#### 4.8. Имитации бриллиантов

Имитация (или симулянт) бриллиантов – это любой природный или созданный человеком материал, по виду похожий на бриллиант и использующийся для его замещения (рис. 4.61). Большинство имитаций легко отличить, если знать характерные особенности природных бриллиантов. Физические и оптические свойства могут быть очень точно определены на соответствующем оборудовании (см.табл.4.13). Свойства алмазов и алмазных имитаций довольно легко большинство имитаций отличается с помощью тестера бриллиантов, определяющего теплопроводность материалов. Но, к сожалению, не всегда оборудование находится “под рукой” у эксперта, а некоторое может оказаться не доступным в силу своей высокой стоимости – поэтому опытный эксперт воспользуется для начала визуальной методикой отличия имитаций от бриллианта, а затем, в зависимости от результата, будет искать соответствующее оборудование.

Характерные признаки, помогающие отличить бриллиант от его имитаций, следующие :

1. Практически все наиболее часто встречающиеся имитации имеют плотность выше, чем у бриллианта – а это означает, что их взвешенная и расчетная массы будут отличаться друг от друга (формулы для расчета массы см. ниже).

2. Такие часто встречающиеся имитации, как фианит, синтетический муассанит, синтетический рутил и титанат стронция имеют дисперсию выше, чем у бриллианта, а это означает, что и их игра будет более сильной, чем у бриллианта.

3. Искусственные материалы могут содержать иные, в отличие от алмаза, включения – например, газовые пузыри.

4. Некоторые имитации, например, синтетическая или природная шпинель, синтетический или природный сапфир, большинство стекол и некоторые дублеты имеют показатель преломления, не выходящий за пределы шкалы рефрактометра – поэтому, в отличие от бриллианта, он может быть определен.

5. Синтетические муассанит и рутил, циркон, синтетический и природный сапфир – двупреломляющие (анизотропные), поэтому у них наблюдается эффект раздвоения ребер граней. Бриллиант – однопреломляющий (изотропный), поэтому эффекта раздвоения ребер граней не имеет.

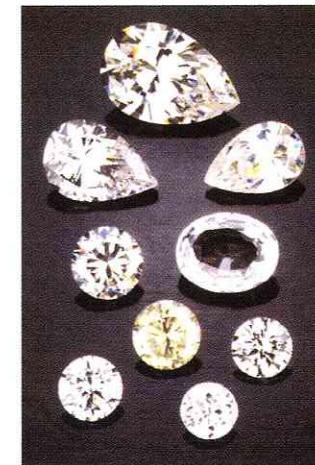


Рис. 4.61. Имитации или симулянты бриллиантов.

6. Твердость всех имитаций намного ниже твердости бриллианта, поэтому довольно часто их поверхность выглядит не очень четкой – с грубыми линиями полировки, с потертыми или как бы “скругленными” ребрами граней.

7. Оптические свойства алмаза и его имитаций так же отличны, поэтому у ограниченных имитаций и бриллиантов можно наблюдать различные отражения различных граней.

#### Формулы расчета массы бриллиантов различных форм огранок

##### 1. Вычисленный вес бриллианта круглой бриллиантовой огранки Кр-57

$$P = D^2 \cdot H \cdot k,$$

где D – диаметр рундиста, H – высота бриллианта от шипа (калетты) до площадки; k – добавочный коэффициент, величина которого зависит от толщины рундиста:

толстый рундист – k = 0,0066-0,0068; средний рундист – k = 0,0064-0,0065; тонкий рундист k = 0,0061-0,0063.

##### 2. Вычисленный вес бриллианта овальной формы

$$P = \left( \frac{L+S}{2} \right)^2 \cdot H \cdot 0.0062,$$

где L – длина бриллианта; S – ширина бриллианта; H – высота бриллианта.

##### 3. Вычисленный вес бриллианта формы «сердце»

$$P = L \cdot S \cdot H \cdot 0.0059,$$

где L – длина бриллианта, S – ширина бриллианта, H – высота бриллианта.

#### 4. Вычисленный вес бриллианта формы «маркиз»

$$P = L \cdot S \cdot H \cdot k,$$

где L – длина бриллианта, S – ширина бриллианта, H – высота бриллианта, k – добавочный коэффициент, величина которого зависит от соотношения L/S:

$$L/S = 1,5/1 - k = 0,00565; L/S = 2/1 - k = 0,0058;$$

$$L/S = 2,5/1 - k = 0,00585; L/S = 3/1 - k = 0,00595.$$

#### 5. Вычисленный вес бриллианта формы «груша» («капля»)

$$P = L \cdot S \cdot H \cdot k,$$

где L – длина бриллианта, S – ширина бриллианта, H – высота бриллианта,

k – добавочный коэффициент, величина которого зависит от соотношения L/S:

$$L/S = 1,25/1 - k = 0,00616; L/S = 1,5/1 - k = 0,006; L/S = 1,66/1 - k = 0,0059;$$

$$L/S = 2/1 - k = 0,00575.$$

#### 6. Вычисленный вес алмаза изумрудной огранки

$$P = L \cdot S \cdot H \cdot k,$$

где L – длина бриллианта, S – ширина бриллианта, H – высота бриллианта;

k – добавочный коэффициент, величина которого зависит от соотношения L/S:

$$L/S = 1/1 - k = 0,0080; L/S = 1,5/1 - k = 0,0092; L/S = 2/1 - k = 0,01;$$

$$L/S = 2,5/1 - k = 0,0106.$$

6а. Для алмазов формы «багет»

$$P = L \cdot S \cdot H \cdot 0.00915,$$

где L – длина бриллианта, S – ширина бриллианта, H – высота бриллианта.

#### 7. Вычисленный вес алмаза треугольной формы

$$P = L \cdot S \cdot H \cdot 0.0057,$$

где L – длина бриллианта, S – ширина бриллианта, H – высота бриллианта.

#### 8. Вычисленный вес алмаза формы «принцесса»

$$P = L \cdot S \cdot H \cdot 0.0083(0.0086),$$

где L – длина бриллианта, S – ширина бриллианта, H – высота бриллианта

Все вышеизложенное только подчеркивает, насколько сложным может оказаться процесс не только оценки, но и самой идентификации бриллианта, определения возможного его облагораживания. Последнее десятилетие довольно часто на рынке алмазов и бриллиантов встречаются помимо природных, также и синтетические алмазы и бриллианты. В отличие от имитаций, синтетические алмазы и бриллианты не являются имитациями и имеют практически те же самые свойства, что и природные, но, в отличие от природных алмазов и бриллиантов, выращиваются искусственно. Тот факт, что и природные, и синтетические алмазы и бриллианты имеют одинаковые свойства, делает их отличие друг от друга без дополнительных аппаратурных методов исследования очень затруднительным. Поэтому в промышленности сегодня актуален вопрос обучения, практики и стажировки специалистов и по вопросам определения природного происхождения алмазов и бриллиантов – разница между неверно определенными параметрами может оказаться очень значительной – ведь все в итоге будет иметь денежное выражение.

Таблица 4.13. Свойства алмазов и алмазных имитаций

Название	Показатель преломления	Двупреломление	Плотность (отношение алмаза)	Дисперсия (отношение алмаза)	Флюоресценция	Твердость по шкале Мооса	Дополнительные характеристики (могут быть видны не во всех образцах)	
Алмаз	2,417	Отсут.	3,52	0,044	LW различная, чаше голубая	10	Почти бесцветные с зеленым или желтым оттенком, часто модифицируемы сероватыми или коричневатыми канальцами, илами, часто перпендикулярны плоскадке; отрицательные кристаллы, край поглощения 425 Нм; при нагревании может стать желтым (временно)	
Синтетический муассанит	2,648-2,691	Сильное (видно удвоение рефл.)	Низкая 3,22	Очень высокая 0,104	Отсут. до слабой оранжевой	9,25	Почти бесцветные с зеленым или желтым оттенком; обычно без дефектов, может содержать газовые пузыри, край поглощения 430 Нм.	
Синтетический руттил	2,616-2,903	Оч. сильное (видно удвоение рефл.)	Высокая 4,26	Экстремально высокая 0,330	Отсут.	6-6,5	Обычно без включений, очевидные особенности пузыри, напротивы (царинны и потертыости ребер)	
Титанат стронция	2,409	Отсут.	Высокая 5,13	Очень высокая 0,190	Отсут.	5-6	Флеш-эффект на плавильне оранжевый, обычно без включений, может содеражать нерасплыванный цирконий, включения, похожие на газовые пузыри	
Синтетический кубический диоксид циркония, CZ	2,150	Отсут.	Высокая 5,80	Высокая 0,060	Отсут. До интенсивной оранжевой, желтой, зелено-желтой	8,5	Бесцветный или почти бесцветный с коричневым оттенком, флеш-эффект на плавильне голубой и оранжевый, обычно бездефектный, может содеражать газовые пузыри и трещульные пластинчатые включения.	
Галлоний-галиний гранат ГГ	1,970	Отсут.	Высокая 7,05	Средняя 0,045	LW отсут. до средней оранжевой SW отсут. до интенс. Розового-оранжевой	6,5	Характеристики полирокки (потертые ребра и грани), прорывные включения, напыление линии 653 Нм; циркония огранка: не полная прозрачность	
Циркон	1,925-1,985	Сильное (видно удвоение рефл.)	Высокая 4,73	Средняя 0,038	Различная	6-7,5		

## ГЛАВА V. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛМАЗОВ

### 5.1. Применения технических алмазов

Уникальные физико-механические и физико-химические свойства (наивысшие; модуль упругости, твердость, теплопроводность, поверхностная энергия и др.) послужили основой широкого применения алмаза в технике и, в первую очередь, для изготовления инструментов: для металлообработки, камнеобработки, обработки алмазов в бриллианты. Алмазы являются стратегическим материалом для машиностроения, стройиндустрии, геологоразведки, электроники, оптики, топливно-энергетического комплекса страны.

Анализ тенденций научно-технического развития общества показывает, что неуклонный рост стоимости энергии, природных ресурсов, человеческого труда не может быть компенсирован за счет расширенного воспроизводства без применения ресурсосберегающих технологий. Данное условие является гарантой бурного развития отрасли сверхтвердых материалов. Производство всех видов этой продукции - один из самых динамично развивающихся секторов мирового производства индустриальных товаров. Известно, что существует тесная связь между промышленно - экономическим потенциалом любой страны и потреблением алмазов. Подтверждением тому являются данные об объемах использования алмазов в промышленности и валовом национальном продукте ведущих стран мира. Статистика показывает, что спрос на сверхтвердые материалы возрастает ежегодно в среднем на 6%. Основу данного рынка составляют природные и синтетические алмазы.

Сфера применения природных алмазов в промышленности зародилась и неуклонно расширялась с 30-х годов XX века, когда началось широкое использование высокопроизводительных металлообрабатывающих инструментов из вольфрамсодержащих твердых сплавов, при доводке и заточке которых алмаз обеспечивает наивысшую производительность и качество обработки. Сегодня алмазы стали одним из индикаторов научно-технического прогресса, а объем потребления технических алмазов - одним из критерии оценки промышленного потенциала развитых стран.

В соответствии со статистическими данными до 80% добываемых в мире алмазов используются в инструментальной промышленности и только 20% - в ювелирном деле.

Областями применения природных алмазов для технических целей являются:

1 - изготовление из предварительно механически обработанных кристаллов алмаза высококоэфективных монокристальных алмазных инструментов, таких как: резцы, волоки, скальпели, наконечники для измерения твердости и др.

2 - изготовление из необработанных кристаллов алмаза многокристальных алмазных инструментов таких как: буровые коронки, правящие карандаши, ролики, гребенки, отрезные круги и др.

3 - изготовление не имеющих аналогов в мире алмазных порошков из недробленого алмазного сырья размером  $-1+0,5$  и  $-0,5+0,2$ , путем его классификации на марки, отличающихся между собой по физико-механическим свойствам, таким как прочность и изометричность (ГОСТ Р 52370-2005).

4 - изготовление алмазных порошков различных марок, отличающихся между собой только по изометричности зерен, из дробленого низкосортного алмазного сырья не пригодного для производства бриллиантов и монокристального инструмента ( ГОСТ 9206-80).

Синтетические алмазы применяются, в основном, для технических целей. Крупные предприятия по переработке и производству алмазов технического назначения, изготовлению алмазного инструмента организованы в США, Англии, Бельгии, России, Израиле, Германии, Корее, Индии, Китае, Белоруссии, Украине и ряде других стран.

В мире использование алмазов на различные технические нужды составляет:

а) шлифование, заточка и доводка инструментов и деталей машин из твердых сплавов составляет 60-70%;

б) правка шлифовальных кругов - 10-12%;

в) бурение- 10%;

Название	Показатель преомления	Дупроломление	Плотность (от-но алмаза)	Дисперсия (от-но алмаза)	Флюоресценция	Твердость по шкале Мооса	Дополнительные характеристики (могут быть видны не во всех образцах)
Иттрий-алюминиевый гранат ИАГ	1,833	Отсут.	Высокая 4,55	Низкая 0,028	LW отсут. до средней оранжевой	8,25	Флеш-эффект на павильоне голубой и фиолетовый, обычно бездефектный, может содержать газовые пузыри
Синтетич-ский сапфир	1,762-1,770	Оч. слабое	Высокая 4,00	Низкая 0,018	SW отсут. до слабой голубовато-белой	9	Газовые пузыри
Синтетич-ская шпинель	1,728	Отсут.	Высокая 3,64	Низкая 0,020	LW отсут. до слабой зеленой; SW средняя, до интенсивной голубая, зеленовато-голубая	8	Газовые пузыри, аномальное двупреломление
Стекло			Обычно низкая 2,30-4,50	Обычно низкая 0,009-0,098	Разл.	Разл.	Газовые пузыри, структуры течения, вогнутые грани, эффект «апельсиновой корки» на поверхности, округлые ребра.
Дублеты		Разл.	Разл.	Разл.	Разл.	Разл.	Плоскость склейки, пок-ль преломления, включения и блеск короны и павильона отличаются

Сокращения: LW - длинные волны, SW - короткие волны.

- г) волочение проволоки - 10%;  
 д) резка и шлифование изделий из стекла, керамики, мрамора, сверление и доводка твердосплавных деталей, обработка часовых и ювелирных изделий - 10-12%.

Алмазный инструмент обеспечивает высокое качество продукции, повышение надежности и долговечности машин и приборов, позволяет обрабатывать новые высокопрочные сплавы, сверхтвердые композиционные материалы. Эффективность применения алмазного инструмента зависит, в первую очередь, от правильного выбора алмазного сырья.

## 5.2. Алмазный инструмент

Алмазные инструменты из кристаллов алмаза широко используются в металлообрабатывающей промышленности для тонкого точения и растачивания, фрезерования, гравирования, волочения и резки стекла; в оптико-механической промышленности - для деления шкал, секторов, лимбов, дифракционных решеток и т.д.

Алмазные инструменты в машиностроительной промышленности можно разделить на две основные группы:

- 1) инструменты из порошков алмаза;
- 2) инструменты из кристаллов технических алмазов.

К первой группе инструментов относятся круги шлифовальные на металлической и органической связках, круги отрезные, хонинговальные бруски, надфили, пасты и порошки алмазные.

Ко второй группе относятся резцы, волоки, карандаши, иглы и ролики для правки абразивных кругов, а также стеклорезы.

Инструменты второй группы изготавливаются из кристаллов алмаза путем шлифования и доводки (огранки).

Для отдельных типов правящего инструмента и стеклорезов используются неграненые алмазы.

### Круги шлифовальные алмазные

Из всех алмазов, применяемых сейчас в промышленности, 70% используется в качестве алмазного порошка для изготовления брусков, надфилей, кругов и других инструментов.

Алмазные круги состоят из корпуса и рабочего алмазоносного слоя. Корпуса изготавливаются из стали, алюминиевых сплавов или полимеров. Алмазоносный слой состоит из алмазного порошка, связки и наполнителя.



Рис. 5.1. Алмазные шлифовальные круги

Выпускаются три вида кругов - на металлических, на органических и на керамических связках.

Алмазные круги на металлических связках отличаются повышенной прочностью и теплостойкостью, значительным сроком службы, хорошо сохраняют свою геометрическую форму, но быстро засаливаются и требуют частой правки. Эти круги применяются для предварительной обработки, когда требуется отшлифовать значительный объем материала с получением 8—9-го классов шероховатости поверхности.

Алмазные круги на органических связках предназначены для окончательной (чистовой) обработки (доводки), когда необходимо достигнуть 10—12-го классов шероховатости. Эти круги отличаются большей производительностью и почти не засаливаются, но по сравнению с кругами на металлической связке расход алмаза на единицу веса снятого материала в 3 раза больше.

При работе алмазными кругами на металлической связке применение охлаждения обязательно. Кругами на органической связке можно работать и без охлаждения, но при этом увеличивается износ круга.

Одной из важнейших характеристик алмазного круга, определяющей при прочих равных условиях экономичность и эффективность его работы, является степень концентрации алмазов, т. е. количество (в миллиграммах) алмазного зерна в 1 мм<sup>3</sup> алмазоносного слоя.

Алмазные круги выпускаются 25-, 50- и 100-процентной концентрации алмазного зерна. За 100-процентную концентрацию в практике принято считать 0,878 мг/мм<sup>3</sup>, что соответствует 4,39 карата в 1 см<sup>3</sup> алмазоносного слоя. Соответственно круги с 50-процентной концентрацией содержат в 2 раза меньше алмазного зерна, т. е. 0,439 мг/мм<sup>3</sup>, а с 25-процентной концентрацией — в 4 раза меньше (0,219 мг/мм<sup>3</sup>).

При 100-процентной концентрации алмазные зерна в кругах независимо от материала связки занимают по объему 25% алмазоносного слоя. Остальные 75% по объему занимают связка и наполнитель. Содержание компонентов в алмазоносном слое различной конфигурации для кругов на органической связке приведено в табл. 5.1.

Таблица 5.1. Содержание алмазов, связки и наполнителя в кругах на органической связке (в % по весу)

Наименование компонентов	Концентрация круга		
	100%	50%	25 %
Алмаз	41,4	22,0	11,4
Связка	29,3	31,4	32,4
Наполнитель	29,3	46,6	43,8

Круги с большой концентрацией алмазов характеризуются большей производительностью. Поэтому высокая концентрация алмазов целесообразна при жестких режимах, при шлифовании периферии круга и при необходимости избегать деформации круга. Например, для профильного шлифования и при внутреннем шлифовании оптимальной концентрацией является 100-процентная.

Для большинства работ применяются круги 50-процентной концентрации. Круги пониженной концентрации (25%) используются на операциях доводки вручную.

Алмазные круги изготавливаются не только на различных связках и с различной степенью концентрации алмазов, но и различными по форме и зернистости.

ГОСТ 24747-81 предусмотрено 68 типоразмеров кругов.

В табл. 5.2 представлены формы и основные размеры кругов. Каждый тип круга имеет буквенный индекс, который состоит из двух частей. Например, в круге АПП буква А обозначает круг алмазный, а ПП — плоский прямой. (Обозначение дано по ГОСТ 24747-81, в скобках дано старое обозначение кругов)

Все алмазные круги маркируются на внутреннем торце металлического корпуса (наименование завода-изготовителя, обозначение зернистости и марки связки, характеристика концентрации алмаза, высота алмазоносного слоя, вес алмаза в каратах, номера ГОСТ и круга, год изготовления).

Например, маркировка круга обозначена: АМ40Б1-50-3-29-9770-61-3240-64. Это значит: зернистость АМ40 на органической связке; марка Б1; концентрация алмаза 50%; высота алмазоносного слоя 3 мм; вес алмаза 29 карата.

Таблица 5.2. Круги шлифовальные алмазные

Наименование и обозначение круга	Форма круга	Размеры, мм
Шлифовальный плоский прямого профиля 1A1 (АПП)		D=16500 H=2100 d=6203
Шлифовальный плоский прямого профиля без корпуса A8(А1ПП)		D=613 H=610 d=24
Алмазные шлифовальные плоские прямого профиля трехсторонние 14VI (А2ПП)		D=125250 H=1020 d=3276
Шлифовальные чашечные конические 12A2=45°(АЧК)		D=50250 H=19,552 d=1676
Шлифовальные чашечные конические 12V2=45°(А2ЧК)		D=50150 H=2040 d=1651
Шлифовальные тарельчатые 12A2=20° (АТ)		D=50250 H=623 d=1051
Шлифовальные плоские с двухсторонним коническим профилем 14EEIX(А2П)		D=25400 H=310 d=6203 =30;40;60;90;120
Шлифовальные плоские с полукругло выпуклым профилем 1FF1X(А5П)		D=50150 H=232 d=1651 R=517

При выборе кругов для различных работ необходимо учитывать тип станка, форму и размер обрабатываемой поверхности, требуемую точность и шероховатость поверхности, характер связки, концентрацию алмазов и их зернистость.

Для рационального использования алмаза формы и размеры кругов выбираются применительно к конкретным операциям (например, для шлифования по наружному диаметру, для доводки по задней поверхности и т. д.).

Ширина алмазоносного кольца определяется характером работы круга (на проход или врезании). При работе на проход следует применять круги с широкими рабочими поверхностями, а при работе методом врезания—круги с рабочей частью, не превышающей высоты обрабатываемой поверхности.

Номенклатура алмазных кругов, выпускаемых по ГОСТ 24747-81, обеспечивает их применение почти на всех моделях шлифовальных станков при круглом (наружном и внутреннем), плоском и фасонном шлифовании.

Зернистость алмазных инструментов выбирают в зависимости от требуемого качества обрабатываемой поверхности.

Таблица 5.3. Выбор зернистости алмазных инструментов

Шероховатость обрабатываемой поверхности $R_a$ , мкм	Зернистость круга со связкой		
	органической	металлической	керамической
0,63—1,25	200/160—125/100	160/125—125/100	160/125—125/100
0,32—0,63	160/125—100/80	125/100—80/63	125/100—80/63
0,16—0,32	100/80—50/40	80/63—50/40	80/63—50/40
0,08—0,16	50/40—40/28	-	63/50—40/28
0,04—0,08	40/28—14/10	-	-
0,04	14/10—5/3	-	-

#### Круги отрезные алмазные

Достаточно эффективно используются алмазы и для обработки неметаллических материалов. Алмазные отрезные сегментные круги предназначены для разрезания горных пород, огнеупоров, бетона и других неметаллических строительных материалов.

Выгодно обрабатывать алмазным инструментом неметаллические материалы, обладающие высокой твердостью и хрупкостью. К ним относятся различные виды керамики, стекло, ферриты, корунд, гранит, диабаз, полупроводниковые материалы (германий, кремний) и др.

Наиболее трудоемкой операцией при обработке неметаллических материалов является разрезание, для чего применяются алмазные отрезные круги, при этом получается равномерная минимальная ширина реза, повышается производительность труда и легко автоматизируется процесс резания.

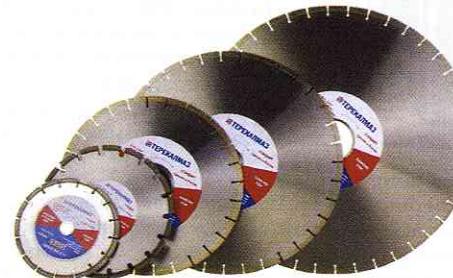


Рис. 5.2. Алмазные отрезные круги

Для изготовления отрезных кругов используются алмазные порошки разной зернистости, а также различные наполнители и связывающие вещества.

Многообразие форм деталей, обрабатываемых шлифованием, широкий диапазон технических требований, предъявляемых к обрабатываемым поверхностям, характер производства и разнообразие размеров и характеристик абразивных кругов, подвергаемых правке, определяют широкую номенклатуру применяемых в настоящее время алмазных правящих инструментов.

Правка шлифовальных кругов одно- или многокристальным неподвижно закрепленным алмазным инструментом осуществляется методом точения и представляет собой процесс высокоскоростного резания с разрушением твердого абразивного материала и связки шлифовального круга.

Алмазносный слой сегментов изготавливается из алмазных порошков марок А4-А8К65, А5-А9К80, А5-А9К100, А6-А9К125, А7-А10К160 по ГОСТ Р 52370-2005; АРС3 зернистостями 1000/800-500/400; А3, А4, А5 зернистостями 1000/800-400/315 по ГОСТ 9206-80, АС65 и АС80 зернистостями 630/500-250/200 или из алмазного сырья XV группы, подгруппы *а*-2 ситовых классов -1,0+0,8; -0,8+0,7; -0,7+0,6; -0,6+0,5 подгруппы *а*-5 ситовых классов -0,8+0,7; -0,7+0,6; -0,6+0,5; -0,5+0,4; -0,4+0,315; XXI группы, подгруппы *а*, ситового класса -0,5+0,2.

Развитие технологических методов высокопроизводительного скоростного шлифования и создание новых абразивных инструментов, с помощью которых они осуществляются, привело к необходимости создания специальных видов алмазных правящих инструментов повышенной износостойкости. К таким инструментам относятся алмазные правящие карандаши, иглы, алмазы в оправах, изготовленные из специально отобранных высококачественных алмазов.

#### Карандаши алмазные правящие

Многообразие форм деталей, обрабатываемых шлифованием, широкий диапазон технических требований, предъявляемых к обрабатываемым поверхностям, характер производства и разнообразие размеров и характеристик абразивных кругов, подвергаемых правке, определяют широкую номенклатуру применяемых в настоящее время алмазных правящих инструментов.



Рис.5.3. Алмазный правящий инструмент

К таким инструментам относятся алмазные правящие карандаши, иглы, алмазы в оправах, изготовленные из специально отобранных высококачественных алмазов. Алмазные карандаши для правки шлифовальных кругов изготавливаются 4-х типов: 01-с алмазами расположенными цепочкой по оси карандаша; 02-с алмазами расположенными слоями; 03-с алмазами, расположенными на сферической поверхности; 04-с неориентированным расположением алмазов. Алмазные карандаши изготавливаются исполнений: А- цилиндрические; В- с коническим корпусом; С- ступенчатые.

Условное обозначение карандашей дополнительно должно включать сведения об алмазном сырье: а) марку природных алмазных шлифпорошков; б) качество алмазного сырья.

Для изготовления алмазного элемента применяются шлифпорошки из природных алмазов по ГОСТ 9206-70 и ГОСТ Р 52370-2005, шлифпорошки из синтетических поликристаллических алмазов или алмазное сырье по нормативно технической документации.

#### Тип 01

обозначение	исп.	основные размеры, мм			весовая группа алмазов, карат	общая масса алмазов, карат
		D	L	1		
3908-0051	A	6	55	33	0,03-0,05	0,5
3908-0052			23	0,05-0,10		
3908-0053		45	12; 14	0,10-0,20		
3908-0054		8	10; 16; 19	0,20-0,50	1,0	
3908-0055			-	0,31-0,50	0,35-0,50	
3908-0070	B	6	70	22	0,05-0,10	0,5
3908-0071		65	14	0,10-0,20		
3908-0072			18	0,20-0,50	1,0	
3908-0073		8	60	-	0,31-0,50	0,35-0,50

#### Тип 02

обозначение	исп.	Исполнение В		Исполнение С	
		D, мм	весовая группа алмазов, карат	зернистость алмазного порошка, мкм	общая масса алмазов, карат
3908-0074	B	10	0,05-0,10	-	1,0
3908-0075			0,10-0,20		
3908-0076		12	0,05-0,10		
3908-0077			0,10-0,20		
3908-0081	C	14/10	60-40 шт./кар.	-	2,0
3908-0082			0,05-0,10		
3908-0083			0,10-0,20		
3908-0084			1250/1000*		
3908-0086c		14/10	1600/1250*	1,0	2,000/1600*
3908-0087c			2000/1600*		
3908-0088c			2000/1600*		

\* - из синтетических поликристаллических алмазов

Тип 03

Исполнение А			Исполнение В			Исполнение С		
обозначение	исп.	основные размеры, мм			весовая группа алмазов, карат	общая мас- са алмазов, карат		
		D	L/1	d				
3908-0058	A	4	45/7	6	200/160	0,5		
3908-0059		6	45/6,5	8	63/50	1,0		
3908-0060					100/80			
3908-0061					125/100			
3908-0062					200/160			
3908-0063		8			315/250	2,0		
3908-0064					400/315			
3908-0065					500/400			
3908-0066					630/500			
3908-0067					800/630			
3908-0069		45/15			1000/800*			
3908-0078	B	конус Морзе	60	10	500/400	1,0		
3908-0079					630/500			
3908-0080					800/630			
3908-0091с	C	14	45	10	1000/800*	2,0		
3908-0093с					1250/1000*			

\* - из синтетических поликристаллических алмазов

Алмазы в оправах



Алмазы в оправах предназначены для правки шлифовальных кругов прямого и фасонного профиля. Алмазы в оправах изготавливаются 4-х типов:

1-цилиндрические; 2-цилиндрические с головкой; 3-конические; 4-резьбовые. Инструмент для правки шлифовальных кругов при внутреннем и наружном круглом, плоском, бесцентровом шлифовании, а также при зубошлифовании, шлицешлифовании и др. операциях финишной обработки фасонных поверхностей.

Для изготовления алмазов в оправах применяются алмазы XII группы, подгруппы *а* 1, 2 и 3-го качества; XII группы подгруппы *б*; XXXI группы, подгруппы *а* 1 и 2-го качества.

Алмаз в державке крепится пайкой серебряным припоеем марок ПСр45 или ПСр50Кд по ГОСТ 19738-74 или другими припоями или методами, обеспечивающими прочность крепления алмаза в державке.

Тип 1		Тип 2		Тип 3		Тип 4			
Обозначение при $\alpha$		основные размеры, мм				масса алмаза, карат			
90 град.	120 град.	D	d	L					
Тип 1 (цилиндрические)									
3908-0101	3908-0102	6	6	25	25	0,02-0,04			
3908-0105	3908-0106					0,05-0,10			
3908-0111	3908-0112					0,11-0,20			
3908-0113	3908-0114					0,31-0,40			
3908-0117	3908-0118					0,41-0,60			
3908-0121	3908-0122			7	8	0,61-0,85			
3908-0123	3908-0124					0,21-0,30			
3908-0125	3908-0126					0,31-0,40			
3908-0131	3908-0132					0,41-0,60			
3908-0133	3908-0134					0,61-0,85			
3908-0137	3908-0138	8	8	10	10	0,86-1,10			
3908-0141	3908-0142					1,11-1,35			
3908-0145	3908-0146					1,36-1,60			
3908-0147	3908-0148					1,61-2,10			
3908-0153	3908-0154					0,21-0,30			
3908-0155	3908-0156			50	50	0,31-0,40			
3908-0157	3908-0158					0,41-0,60			
3908-0161	3908-0162					0,61-0,85			
3908-0163	3908-0164					0,86-1,10			
3908-0165	3908-0166					1,11-1,35			
3908-0167	3908-0168	12	12	75	75	1,36-1,60			
3908-0171	3908-0172					1,61-2,10			
3908-0173	3908-0174					0,21-0,30			
3908-0175	3908-0176					0,31-0,40			
3908-0177	3908-0178					0,41-0,60			
3908-0181	3908-0182					0,61-0,85			
3908-0183	3908-0184					0,86-1,10			
3908-0185	3908-0186					1,11-1,35			
3908-0187	3908-0188	32	32	50	50	1,36-1,60			
3908-0191	3908-0192					1,61-2,10			
3908-0193	3908-0194					0,21-0,30			
Тип 2 (цилиндрические с головкой)									
3908-0195	3908-0196			10	6	0,21-0,30			
3908-0197	3908-0198					0,31-0,40			
3908-0201	3908-0202					0,41-0,60			
3908-0203	3908-0204					0,61-0,85			
3908-0205	3908-0206			50	50	0,86-1,10			

3908-0207	3908-0208				1,11-1,35
3908-0211	3908-0212				1,36-1,60
3908-0213	3908-0214				1,61-2,10
3908-0215	3908-0216			32	0,21-0,30
3908-0217	3908-0218			50	
3908-0221	3908-0222			32	0,31-0,40
3908-0223	3908-0224			50	
3908-0225	3908-0226			32	0,41-0,60
3908-0227	3908-0228			50	
3908-0231	3908-0232			32	0,61-0,85
3908-0233	3908-0234			50	
3908-0235	3908-0236			32	0,86-1,10
3908-0237	3908-0238			50	
3908-0241	3908-0242			32	1,11-1,35
3908-0243	3908-0244			50	
3908-0245	3908-0246			32	1,36-1,60
3908-0247	3908-0248			50	
3908-0251	3908-0252			32	1,61-2,10
3908-0253	3908-0254			50	

Обозначение при $\alpha$		основные размеры, мм				масса алмаза, карат
90 град.	120 град.	D	h	L	Конус Морзе	
<b>Тип 3 (конические)</b>						
3908-0255	3908-0256	10,3	8	28	B10	0,31-0,40
3908-0257	3908-0258					0,41-0,60
3908-0261	3908-0262					0,61-0,85
3908-0263	3908-0264					0,86-1,10
3908-0265	3908-0266					1,11-1,35
3908-0267	3908-0268					1,36-1,60
3908-0271	3908-0272					0,31-0,40
3908-0273	3908-0274	12,2	10	32	B12	0,41-0,60
3908-0275	3908-0276					0,61-0,85
3908-0277	3908-0278					0,86-1,10
3908-0281	3908-0282					1,11-1,35
3908-0283	3908-0284					1,36-1,60
<b>Обозначение при <math>\alpha</math></b>		<b>основные размеры, мм</b>				масса алмаза, карат
90 град.	120 град.	D	h	L		

#### Тип 4 (резьбовые)

3908-0285	3908-0286	-	-	50	0,11-0,20
3908-0287	3908-0288				0,21-0,30
3908-0291	3908-0292				0,31-0,40
3908-0293	3908-0294				0,41-0,60
3908-0295	3908-0296	-	-	36	0,61-0,85
3908-0297	3908-0298				50
3908-0301	3908-0302	-	-	36	0,86-1,10
3908-0303	3908-0304				50
3908-0305	3908-0306	-	-	50	1,11-1,60
3908-0307	3908-0308				1,36-1,60

#### Иглы алмазные правящие

Алмазные иглы, используют в качестве опушивающего элемента в контактных профилометрах и профилографах.

Инструмент предназначен для профильной правки по копиру шлифовальных кругов, в том числе, для правки одноточечных резьбошлифовальных кругов при шлифовании высокоточных резьбовых поверхностей. Рабочая часть иглы выполнена в виде четырехгранной пирамиды с углом заточки между противоположными гранями 60 и 90°, возможно изготовление инструмента с другими углами заточки.

Иглы изготавливаются из высококачественных природных кристаллов алмаза удлиненной формы массой 0,21-0,4 карата. При соблюдении технологических требований по эксплуатации игла может быть переточена до 5-6 раз.

обозначение	основные размеры, мм				алмазное сырье	
	D	L	$\alpha$ , град.	$\beta$ , град.	тип	масса алмазов, карат
3908-0031	6	35	60±10	50±10	2	0,21÷0,30
3908-0033			90±10	80±10		
3908-0035	8	50	60±10	50±10	1	0,21÷0,40
3908-0036			90±10	80±10	2	0,21÷0,30
3908-0037	9,5	50	60±10	50±10	1	0,21÷0,40
3908-0038			90±10	80±10	2	0,21÷0,30
3908-0039	10	50	60±10	50±10	1	0,21÷0,40
3908-0040			90±10	80±10	2	0,21÷0,30
3908-0042	9,5	50	60±10	50±10	1	0,21÷0,40
3908-0044			90±10	80±10	2	0,21÷0,30
3908-0045	10	50	60±10	50±10	1	0,21÷0,40
3908-0047			90±10	80±10	2	0,21÷0,30
3908-0048	10	50	60±10	50±10	1	0,21÷0,40
3908-0050			90±10	80±10	2	0,21÷0,30

#### Алмазный буровой инструмент

Для изготовления буровых коронок, долот и расширителей применяют природные и синтетические алмазы. Их эксплуатационные свойства при бурении скважин условно называют буровыми свойствами. Буровые свойства оценивают по ресурсу инструмента, механической скорости бурения и удельному расходу алмазов на 1 м скважины. Как правило, сравнение свойств алмазов проводят в аналогичных геолого-технических условиях при одинаковой конструкции алмазных коронок и сопоставимых размерах алмазных зерен.

По функциональному назначению алмазы в коронке подразделяются на объемные (торцевые) и подрезные.

Объемные алмазы равномерно распределяются в матрице буровой коронки или в ее поверхностном слое (по определенной схеме) и выполняют работу по разрушению горной породы на забое скважины.

Подрезные алмазы располагаются на наружной и внутренней боковых поверхностях матрицы и предназначены для защиты корпуса коронок от преждевременного бокового износа и калибрования стенок скважины.

Природные алмазы, используемые для оснащения объемного и подрезного слоев коронок, долот и расширителей, производимых в разных странах, различаются по качеству и размерам.

Полированные алмазы производятся для получения гладкой поверхности. В процессе обработки неровности и шероховатость алмазных зерен сглаживаются; поверхность становится прозрачной; внутренние зоны кристалла легко просматриваются, что позволяет сортировать алмазы по дефектам. При бурении алмазами с гладкой полированной поверхностью силы трения на контакте порода-алмаз существенно ниже, чем при алмазах с шероховатой неровной поверхностью, в результате чего повышается механическая скорость бурения и стойкость породоразрушающего инструмента.

Разработано три способа полирования поверхности алмазов: механический; химический; газопламенный.

Механический способ полирования заключается в окатывании алмазов в специальной камере с применением суспензии алмазного микропорошка, при этом используются предварительно оваллизованные алмазы.

Химический способ полирования - обработка алмазов в расплаве солей, обладающих окислительными свойствами. Шихта для обработки нагревается в электропечи до температуры около 1300 °C. Полирование алмазов достигается путем некоторого окисления поверхности зерен в результате более высокой скорости окисления микровыступов на поверхности алмаза. Режущие кромки кристаллов при этом остаются.

Методом химического полирования можно обрабатывать алмазное сырье любого вида (оваллизованные, дробленые и природные необработанные алмазы).

Газопламенное полирование заключается в обработке шероховатой поверхности оваллизованных алмазов в водородно-кислородной или ацетиленокислородной смеси при высокой температуре. Алмазы при этом способе полируются, как и при химическом методе, за счет окисления микровыступов на шероховатой поверхности зерен.

Низкосортные алмазы с полированной поверхностью по работоспособности близки к высокосортным алмазам и могут быть эффективно использованы при изготовлении алмазных коронок в качестве объемных алмазов.

Термообработка алмазов повышает механическую прочность их за счет снижения внутренних напряжений в кристаллах. Для этого алмазы нагревают до заданной температуры в электропечи в восстановительной атмосфере (озон, аргон, водород), выдерживают при этой температуре определенное время и затем охлаждают.

Металлизация алмазов производится с целью увеличения прочности сцепления (адгезии) алмазов с матрицей бурового инструмента. Существует более двух десятков различных методов нанесения металлических покрытий на алмазы. Для изготовления алмазного породоразрушающего инструмента, в основном, используют методы ионно-плазменного распыления - диодный, триодный, из плазмы электродугового разряда с холодным катодом (метод КИБ) и магнетронный.

Гранулирование алмазов заключается в покрытии мелких алмазных зерен металлическими порошками, входящими в состав шихты. Алмазные зерна предварительно смачивают kleящими веществами. Наличие металлической пленки вокруг алмаза предохраняет его от дробления при прессовании матрицы и от графитизации при нагревании. Металлическая пленка способствует более прочному сцеплению алмазов и матрицы. Применение гранулированных алмазов для армирования коронок позволяет более равномерно распределить их в матрице.

Различают обычную грануляцию и двойную - когда гранулы алмазов дополнительно окатывают в алмазном порошке размерностью 1000-800 шт/кар. Таким образом, формируют порошки алмазов для бурения малоабразивных твердых горных пород.

Рекуперированные природные алмазы также используются для оснащения породоразрушающего инструмента.

Существует несколько способов извлечения алмазов из матрицы инструмента.

Наиболее распространенным способом является электролитическое растворение отработанных инструментов в водном растворе поваренной соли. После извлечения алмазы высу-

шивают, сортируют по качеству и размерам. При необходимости алмазы могут быть подвергнуты обработке одним из перечисленных выше способов.

Применение рекуперированных алмазов позволяет существенно снизить стоимость алмазного инструмента, что в условиях рыночной экономики весьма актуально.

Тип алмазных буровых коронок, предназначенных для вращательного бурения геологоразведочных скважин кольцевым забоем с отбором керна и бескернового бурения, и алмазных буровых расширителей, предназначенных для предотвращения уменьшения диаметра скважин в процессе бурения, определяется номером конструкции, индексом, указывающим расположение алмазных слоев, и индексом износостойкости (твердости) матрицы.

Таблица 5.4. Система обозначения буровых коронок, оснащенных алмазами по ТУ47-12-88

Индекс	Место индекса в маркировке	Расшифровка индексов
01, 02, 03 и т. д.	Первые две цифры	Порядковый номер конструкции коронок (номер присваивается базовым отделом по стандартизации алмазного инструмента)
А, И	После первых цифр	Расположение алмазов в коронке: А - однослойные, И - импрегнированные коронки
3, 4, 5	После буквы	Износостойкость и твердость матрицы
Б, И, Н, К, Д, П, Т, Р	После цифры, обозначающей твердость матрицы	Качество объемных алмазов, принадлежность алмазов к группе: Б-Х В - группа, подгруппа а В-Х В - группа, подгруппа а-1 Н-Х В - группа, подгруппа а-2 К-Х В - группа, подгруппа а-4 Д-Х В - группа, подгруппа а-5 П-Х В - группа, подгруппа а-6 Т-Х В - группа, подгруппа а-7 Р - рекуперированные
2, 5, 8, 10, 20 30, 40, 50, 60 и т. д.	После букв, обозначающих сорт объемных алмазов	Минимальное число зерен алмазов в данной фракции (шт/кар) для объемных алмазов
Н, К	После цифр, обозначающих зернистость объемных алмазов	Качество подрезных алмазов; расшифровка та же, что и для объемных алмазов (см. выше)
2, 5, 10, 20, 30	После букв, обозначающих сорт подрезных алмазов	Минимальное число зерен алмазов в данной фракции (шт/кар) для подрезных алмазов

Таблица 5.5. Показатели надежности основных типов алмазных буровых коронок и расширителей (по А. И. Осецкому)

Тип инструмента	Категория пород по буримости	Показатели надежности типового представителя		
		Полный средний ресурс, м	Установленный ресурс, м	Удельный расход алмазов, кар/м
<b>Коронки буровые с гранулированными алмазами:</b>				
Ø 46—76 мм 02Г3	VIII-IX	22,6	4,5	0,87
02Г3М*	IX-X	18,7	3,6	1,05
Ø 36—93 мм 02ИЗГ	IX	17,9	3,6	0,65

Тип инструмента	Категория пород по буримости	Показатели надежности типового представителя		
		Полный средний ресурс, м	Установленный ресурс, м	Удельный расход алмазов, кар/м
02И3ГМ*	X-XI	9,5	1,9	1,30
	XI-XII	7,5	1,5	1,63
Ø 36—93 мм 02И4Г 02И4ГМ*	IX-X	10,0	2,0	0,75
	X-XI	7,3	1,5	1,23
Коронки алмазные буровые				
Ø 36—112 мм 01 А3 01А3М*	VIII-IX	14,5	не установлен	0,57
	VIII-IX	14,5		0,57
Коронки алмазные буровые				
Ø 46, 59 мм 20И2Г 21М3Г	IX-XI	42,0	То же	0,4
	VII-VIII	43,0		0,33
Коронки алмазные буровые				
Ø 36—112 мм 01А3СВ 01А4СВ	до VIII	20,0	4,0	0,45
	VIII-IX	10,0	2,0	1,02
Ø 46—112 мм 02И3СВГ 02И4СВГ	до VIII	22,0	4,4	0,69
	VIII-IX	11,6	2,3	1,02
Ø 89, 114 мм 01А3СВ 01А4СВ	IX-X	8,2	1,6	1,51
Коронки алмазные буровые типа БИТ-59	VIII-X	18,0	3,6	0,84
	IX-X	15,2	3,0	0,99
Калибраторы алмазные направленного бурения для скважин				
Ø 59 и 76 мм КАНБ-59(76)	VIII-IX	40	20	0,66
Коронки алмазные типа И4ДП				
Ø 59, 76 мм	X-XI	12	-	1,16
Коронки типа 03Р3, 03Р4				
Ø 59, 76 мм	до V	105	31,5	0,11
	V-VI	75	22,5	0,15
	V-VII	46	13,8	0,25
	VII-VIII	30	9,0	0,38
	VIII-IX	15	4,5	0,77
Алмазные буровые импрегнированные коронки типа:				
БС	VIII-IX	26,8	-	1,42
БС01	IX-X	21,4	-	1,78
БС03	X-XI	16,8	-	2,14
	VIII-IX	25,5	-	0,81
	IX-X	25,0	-	0,80
	X-XI	14,8	-	1,40
БС04	VIII-IX	28,0	-	0,55
	IX-X	27,0	-	0,60
	X-XI	10,6	-	1,40
БС05	VIII-IX	22,0	-	0,61
	IX-X	20,0	-	0,70
БС06	VIII-IX	26,0	-	0,53
	IX-X	25,0	-	0,54
	X-XI	24,7	-	0,56
	XI-XII	7,7	-	1,82
БС09	IX-X	31,0	-	0,80
	X-XI	30,6	-	0,80

Тип инструмента	Категория пород по буримости	Показатели надежности типового представителя		
		Полный средний ресурс, м	Установленный ресурс, м	Удельный расход алмазов, кар/м
БС18	VIII-IX	21,3	-	0,77
	IX-X	15,4	-	1,08
	X-XI	11,8	-	1,40
	XI-XII	9,1	-	1,82
БС23	IX-X	18,8	-	1,10
БС20	X-XI	14,9	-	1,02
	XI-XII	10,8	-	1,49
Инструмент алмазный буровой для КССК-76				
К-16	VII-VIII	44	-	0,40
	VIII-IX	40	-	0,43
К-18	VI-VII	98,3	-	0,14
17А4	VI-VII	132,0	-	0,14
	VII-VIII	60,0	-	0,30
РКЦ	VI-VII	160,0	-	0,05
	VII-VIII	90,0	-	0,09
	VIII-IX	75,0	-	0,11
	IX-X	70,7	-	0,12
Расширители алмазные буровые типа РСА				
Ø 46, 59, 76, 93 мм	VII-XI	80,0	-	0,10
Коронки буровые алмазные типа КС-76С	до VI	105	63,0	0,133
	VI-VII	50	30	0,28
	VII-VIII	25	15	0,56
	VIII-IX	10	6	1,33
02КС-76С	до VII	70	42,0	0,18
01КС-93С	VI-VII	60	36,0	0,18
02КС-93С	VI-VII	70	42,0	0,15
02КС-112С	VI	23	13,8	0,60
Коронки буровые типа 03КС-76 (93, 112)				
03КС-76	V-VI	150	-	0,10
	VI-VII	100	-	0,15
	VII-VIII	50	-	0,30
	VIII-X	18	-	0,83
03КС-93	VI-VII	70	-	0,21
03КС-112	VI-VII	55	-	0,26
Коронки алмазные буровые виброгасящие				
Ø 46, 59, 76, 93 типа 01А3-ЖМ	VIII-IX	18,0	-	0,41

\* Показатели для коронок с металлизированными алмазами: ресурс увеличивается на 10%; удельный расход алмазов уменьшается на 8%.

Пример обозначения коронки: 01А3-Д 20-К20.

Расшифровывается так: 01 - первая конструкция; А - однослойная; 3 - матрица твердостью HRC2025; Д - объемные алмазы из дробленых алмазов; 20 - зернистость объемных алмазов 30-20 шт/кар; К - подрезные алмазы из овализованных алмазов; 20 - зернистость подрезных алмазов 30-20 шт/кар.



Рис.5.4. Алмазные буровые коронки

Таблица 5.6. Показатели надежности алмазных буровых коронок и расширителей для снарядов со съемными керноприемниками ССК-59 (по А. И. Осецкому)

Тип инструмента	Характеристика алмазов	Показатели надежности	
		Полный средний ресурс, м	Удельный расход алмазов, кар/м
Коронка алмазная буровая типа К-09И2Г для ССК-59	XV гр. подгр.а-2	45,0	0,75
Инструмент алмазный буровой для ССК-59			
K-01	XV гр. подгр. а	38,0	0,30
	XV гр. подгр. а-2	21,0	0,68
	XV гр. подгр. а-2	15,0	0,91
K-01-1	XV гр. подгр. а	36,3	0,4
	XV гр. подгр. а-1	18,0	0,7
	XV гр. подгр. а-2	15,0	0,93
K-01-2	XV гр. подгр. а	25	0,36
	XV гр. подгр. а-2	15	0,67
	XV гр. подгр. а-1	18	0,50
K-08	XV гр. подгр. а-5	32,2	0,95
	XV гр. подгр. а-2	15	1,5
PCA-1	XV гр. подгр. а-4 размерностью до 20 шт/кар	150	0,076
	XV гр. подгр. а-4 размерностью 30-20 шт/кар	140	0,081
	XV гр. подгр. а-4 размерностью 50-30 шт/кар	130	0,088
	XV гр. подгр. а-2 размерностью 50-30 шт/кар	120	0,063
	APC3-0 размерностью 2000/1600 мк	100	0,140
	APC3-0 размерностью 1600/1250 мк	80	0,095
K-01-3	XV гр. подгр. а-2	20	1,13
КАСК-ОЦ	Для всех видов алмазов по ТУ 41-13-0-85	22	0,80

### Алмазные резцы

Алмазные резцы используются для резания разнообразных материалов – металлов, камня, резины, пластмасс и т.д. Производительность с их применением увеличивается, например, при работе с пластмассами, в 900 раз. Для резцов используют алмазы от 0,31 до 0,85 карата (чаще 0,5-0,6 карата).

Вес алмазов находится в пределах 0,3—1,5 карата. Крупные кристаллы весом более 1 карата применяются для отрезных резцов, более мелкие—для проходных.

Предназначенные для резцов алмазы должны иметь плотную структуру, на их рабочей части не допускаются наружные и внутренние трещины, раковины и включения, видимые при десятикратном увеличении.



Рис.5. 5. Образцы алмазных резцов

дисков (95% Cu, 4,7% Sn и 0,2% P) диаметром 75—90 мм и толщиной 0,05—0,07 мм, причем алмаз закрепляют с помощью специального клея в двух латунных державках. Предварительно на алмазе делают надрез глубиной до 0,3мм диском толщиной 0,1—0,12мм. Скорость разрезания 6000 об/мин.

Шлифование (огранка) алмазного резца осуществляется алмазно-металлическими кругами и чугунными дисками, шарированными алмазными порошками, и производится так же, как и резка в мягком направлении. Шлифование резца начинается с образования передней поверхности, затем гранятся боковые поверхности и вершина рабочей части. Заключительной операцией является доводка передней поверхности, при которой снимаются все сколы, выкрашивания и другие дефекты, образовавшиеся на режущих кромках в процессе огранки алмаза.

На операциях предварительного шлифования кристаллов алмаза, при которых сошлифовывается наиболее трудно обрабатываемая часть, применяются алмазно-металлические круги типа АЧЦ зернистостью А5—А4 100-процентной концентрации. Шероховатость получаемой поверхности кристаллов соответствует 10—11-му классам.

На операциях окончательного шлифования и доводки применяют чугунные диски, шарированные алмазными порошками зернистостью АМ40—АМ28 при окончательном шлифовании и зернистостью АМ10—АМ3—при доводке. Материал диска—серый чугун марки СЧ12-28 или СЧ15-32 по ГОСТ 1412-54. При доводке достигается 13—14-й классы шероховатости. Скорость шлифования — 30—40 м/сек; усилие прижима алмаза к шлифовальному диску—1—3 кг; допустимое торцовое биение рабочей поверхности шлифовального диска — 0,003—0,005 мм при его диаметре 250—300 мм.

Резцы с впаянными алмазами отличаются простотой конструкции, малыми габаритами и возможностью использования кристаллов небольших размеров. Эти резцы целесообразно применять, главным образом, при растачивании отверстий малых диаметров. Недостаток крепления алмазов пайкой заключается в сложности его восстановления после переточки.

При механическом креплении алмаз легк извлекается из державки резца, перетачивается и вновь закрепляется. Однако 2/3 кристалла покрывается прижимной планкой, и, следова-

тельно, большая часть его не используется, поэтому резцы с механическим креплением должны быть увеличенных размеров и требуют применения более крупных алмазов.

Алмазные резцы различаются по конструкции. Нормальми машиностроения и часовой промышленности предусмотрены различные формы алмазных резцов и различные типы державок для крепления алмазов.

При конструировании новых алмазных резцов следует учитывать жесткость крепления кристалла алмаза в державке.

При выборе геометрии режущей части алмазных резцов необходимо руководствоваться следующим:

1. Передняя и задняя поверхности и режущие кромки резцов должны быть расположены в более прочных и износостойких кристаллографических сетках и направлениях. Передний угол алмазных проходных резцов необходимо выполнять в пределах от 0 до 5°, чем меньше твердость обрабатываемого материала, тем больше должно быть значение угла. Задний угол следует принимать, возможно, меньшим (4—8°) при обработке твердых материалов и увеличивать до 10—12° при обработке мягких материалов. При расточке отверстий малых диаметров задний угол необходимо увеличивать.

2. Большое значение для эффективности работы резца имеет величина главного и вспомогательного углов в плане. Увеличение главного угла в плане способствует уменьшению вибраций. Уменьшение угла в плане до 0° значительно улучшает чистоту поверхности.

3. Упрочнение режущей кромки резца следует достигать за счет уменьшения заднего и переднего углов, увеличения угла при вершине и радиуса закругления между режущими кромками и повышения жесткости системы станок—деталь—инструмент.

Применяемые режимы резания и степень нагрева инструмента определяют износостойкость инструмента.

Алмаз, обладая высокой температуропроводностью и низким коэффициентом трения, позволяет вести обработку с высокой скоростью резания. В настоящее время скорости резания при работе алмазными резцами достигают 700 м/мин и больше, при этом стойкость между переточками, в зависимости от обрабатываемого материала и режимов резания, находится в пределах от 25 до 200 час. Алмазы весом 0,5—0,6 карата допускают от 6 до 10 переточек.

#### Алмазные боры и диски для зубоврачебной практики

При сверлении алмазным бором и обработки диском в виду большой теплопроводности алмаза исключен сильный перегрев зуба.

Алмазные боры и диски изготавливаются различной степени зернистости алмазов с учетом конкретной стоматологической задачи: пропарирования или чистовой обработки тканей зуба, или полировки пломбировочных материалов. Крупная крошка предназначена для придания шероховатой поверхности пластмассовым протезам и мягким материалам.

Средняя крошка - данные инструменты, отличающиеся долговечностью и высокой абразивной способностью, предназначены для снятия больших



Рис.5. 6. Алмазные боры и диски

объемов и обработки материала при высоком режущем давлении. Эти инструменты рекомендуются использовать при работе с металлокерамикой, кобальт-хромом, а также для контурирования изделий из керамики перед последним обжигом.

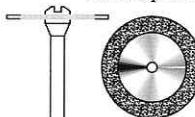
Мелкая крошка - эти инструменты характеризуются очень высокой абразивной способностью и повышенной долговечностью. Они предназначены для отделки и финальной обработки небольших изделий.

Алмазные инструменты рекомендуются для корректировки изделий из керамики, металлокерамики и драгоценных сплавов.

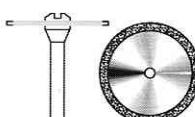
Кроме того, диски различаются: по форме - плоские, плоские перфорированные, конические; по размерам и способу нанесения алмазного покрытия - сплошное, кольцевое, верхнее, нижнее, двухстороннее.

Алмазные диски выпускаются трех основных видов:

#### Стандартные-

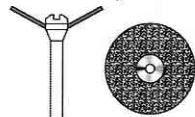


Толщина мм	0,5	0,5	0,5
Диаметр мм	18	20	22

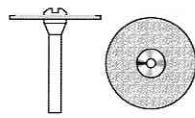


Толщина мм	0,4	0,4
Диаметр мм	20	22

#### Тонкие, гибкие-

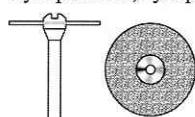


Толщина мм	0,17	0,17	0,17
Диаметр мм	18	20	22

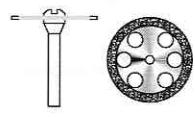


Толщина мм	0,24	0,24	0,24
Диаметр мм	18	20	22

#### Супертонкие, супергибкие-



Толщина мм	0,12	0,12
Диаметр мм	20	22



Толщина мм	0,19	0,19
Диаметр мм	20	22

#### Стеклорезы



Рис.5.7. Алмазный стеклорез

Алмазный стеклорез состоит из молоточка с прорезями для ломки стекла, в который закреплен специальным припоем природный или искусственный алмаз массой от 0,02 до 0,2 карата.

В зависимости от массы алмазов, вставленных в стеклорезы, они делятся на группы и предназначены для резки стекла различной толщины. Алмаз обеспечивает резку не менее 10000 м стекла.

### Алмазные волоки (фильтры)

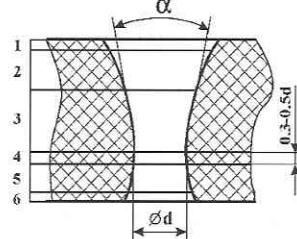


Алмазные пластинки с просверленными в них тончайшими отверстиями, используются для волочения проволоки. Алмаз для фильтра должен быть прозрачным, без дефектов, трещин, раковин и посторонних включений, при массе кристаллов 0,1-3,5 карата. Отверстия в алмазе фильтр производят с помощью луча лазера.

Одна алмазная волока заменяет более 200 волок из твердых сплавов, при увеличении скорости волочения в несколько раз.

Рис. 5.8. Алмазные волоки (фильтры)

Тип М (для мягких материалов)



Тип Т (С) (для твердых материалов)

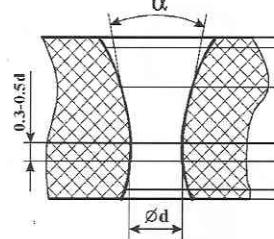


Рис. 5.9. Типы волок (фильтров)

1 – входная распушка; 2 – смазочный конус; 3 – рабочий конус; 4 – калибрующая зона; 5 – обратный конус; 6 – выходная распушка;  $\alpha$  – угол рабочего конуса;  $d$  – диаметр калибрующего отверстия.

Для изготовления волок должно применяться алмазное сырье VI группы по техническим условиям на сырье весовых групп.

Таблица 5.7.

Тип волок	Область применения	$d$ (мм)
<b>M</b>	Холодное волочение металлов и сплавов с временными сопротивлением до 500 МПа – медь, золото, серебро, платина.	от 0,010 до 2,000
<b>T(C)</b>	Холодное волочение металлов и сплавов с временными сопротивлением от 500 МПа и более – сталь, латунь, никель, константан, манганин, никром и др. Теплое и горячее волочение вольфрама, молибдена, иридия и их сплавов.	от 0,010 до 1,000

Таблица 5.8. Соотношение диаметров отверстия волок группам алмазного сырья

Диаметр калибрующего отверстия (мм)	Размерно-весовая группа (карат)	Диаметр калибрующего отверстия (мм)	Размерно-весовая группа (карат)
0,011 – 0,015	0,05 – 0,07	0,016 – 0,030	0,05 – 0,07
	0,08 – 0,10		0,08 – 0,10
	0,11 – 0,15		0,11 – 0,15
0,031 – 0,045	0,05 – 0,07	0,046 – 0,100	0,08 – 0,10
	0,08 – 0,10		0,11 – 0,15
	0,11 – 0,15		0,16 – 0,20
0,101 – 0,200	0,11 – 0,15	0,201 – 0,300	0,16 – 0,20
	0,16 – 0,20		0,21 – 0,30
	0,21 – 0,30		0,31 – 0,40

ТУ3970-001-00221770-04; ТУ3970-002-00221770-04; ТУ3970-003-00221770-04	Диаметр калибрующего отверстия (мм)	Размерно-весовая группа (карат)	Диаметр калибрующего отверстия (мм)	Размерно-весовая группа (карат)
0,301 – 0,600	0,21 – 0,30	0,601 – 0,800	0,61 – 0,65	
	0,31 – 0,40		0,66 – 0,85	
	0,41 – 0,45		0,86 – 0,89	
	0,46 – 0,60		0,90 – 1,10	
	0,61 – 0,65		1,001 – 1,200	1,11 – 1,19 1,20 – 1,35
0,801 – 1,000	0,86 – 0,89	1,201 – 1,500	1,20 – 1,35	
	0,90 – 1,10		1,36 – 1,39	
	1,11 – 1,19		1,40 – 1,60	
	1,20 – 1,35		1,61 – 1,79	
1,501 – 1,800	1,40 – 1,60	1,801 – 2,000	1,80 – 2,10	
	1,61 – 1,79		1,61 – 1,79	
	1,80 – 2,10		1,80 – 2,10	

### Алмазные скальпели

Алмазный микрохирургический скальпель представляет собой уникальный инструмент идеально адаптированный к микрохирургическим операциям любого профиля: пластических, сосудистых, офтальмологических. Острота режущей кромки позволяет достичь истинного свойства процесса резания - раздвигание тканей на молекулярном уровне, что способствует в дальнейшем быстрому процессу заживления. Скальпель предназначен для многоразового использования. В умелых руках, при бережном отношении, хирург может осуществить до 2000 – 3000 операций без изменения качества резания лезвия.

Режущая часть алмазного скальпеля изготавливается из природных алмазных пластин к которым предъявляются высокие требования: минимальные параметры - ширина 2.0 мм., длина 6.5 мм., толщина - 0.5 мм. Широкие грани у пластины должны иметь ровную поверхность и быть параллельны друг другу. Цвет - любой.

Допускается отбор и шинеливых двойников, с условием, что границы срастания должны быть ровные и лежать в одной плоскости, иметь ровные поверхности на широких гранях. Не допускается наличие треугольных впадин на гранях и рёбрах. Отбор пластины производится из алмазного сырья + 9-11; + 11-12; 2 gr, 3gr, 4gr.

Производство микрохирургических офтальмологических скальпелей состоит из нескольких этапов.

Первоначально производится раскрой алмазных пластин при помощи лазера. Исходя из размеров пластины, задаются параметры будущего лезвия. Подшлифовка и огранка лезвия осуществляется на оборудовании, которое используется в ограночной промышленности. Оснастка - специальная, для каждого лезвия своя. После этого алмазная заготовка отправляется на заточку.



Рис. 5. 10. Алмазные скальпели

Сборка скальпеля: лезвие закрепляется в державку при помощи специального медицинского клея или пайки пищевым оловом, в зависимости от предназначения скальпеля.

Державки изготовлены из титана. Применяются четыре вида державок. Универсальные державки - лезвие крепится параллельно оси державки. Державки с постоянным углом - лезвие крепится под определенным углом к оси державки. Державки - с переменным углом - конструкция державки позволяет менять угол наклона лезвия относительно оси державки от 0° до 70°.

Державки - с дозированной подачей - при помощи микроподачи или фиксированного упора конструкция державки гарантирует вылет лезвия с точностью  $\pm 0,02\text{мм}$ . Все державки обеспечивают защиту режущей части лезвия корпусом.

Таблица 5.9. Формы алмазных лезвий для скальпелей

	ЛЕЗВИЕ МТ 58 (45° и 30°) ширина лезвия 1мм		ЛЕЗВИЕ МС 58-02 ширина лезвия 1мм
	ЛЕЗВИЕ ПМТ 85 ширина лезвия 1мм		ЛЕЗВИЕ МС 58-03 ширина лезвия 1мм
	ЛЕЗВИЕ ПМТ 85-02 ширина лезвия 1мм		ЛЕЗВИЕ ПМ 38 (П), -01, -02, -03 ширина лезвия ПМ 38: 2,8 мм ПМ 38-01: 3,0 мм; ПМ 38-02: 3,2 мм; ПМ 38-03: 2,5 мм
	ЛЕЗВИЕ МС 58 ширина лезвия 1мм		ЛЕЗВИЕ ПМ 38 (Т), 01, -02, -03 ширина лезвия ПМ 38: 2,8 мм ПМ 38-01: 3,0 мм; ПМ 38-02: 3,2 мм; ПМ 38-03: 2,5 мм
	ЛЕЗВИЕ МО 38, -01, -02 ширина лезвия МО 38: 1,0 мм МО 38-01: 1,5 мм; МО 38-02: 2,0 мм;		ЛЕЗВИЕ ПМ 38 (Д), -01, -02, -03 ширина лезвия ПМ 38: 2,8 мм ПМ 38-01: 3,0 мм; ПМ 38-02: 3,2 мм; ПМ 38-03: 2,5 мм

### 5.3. Порошки алмазные

Основными параметрами, которые определяют абразивные свойства алмазов, являются: высокое поверхностное натяжение, исключительная твердость кристаллов, большая теплопроводность.

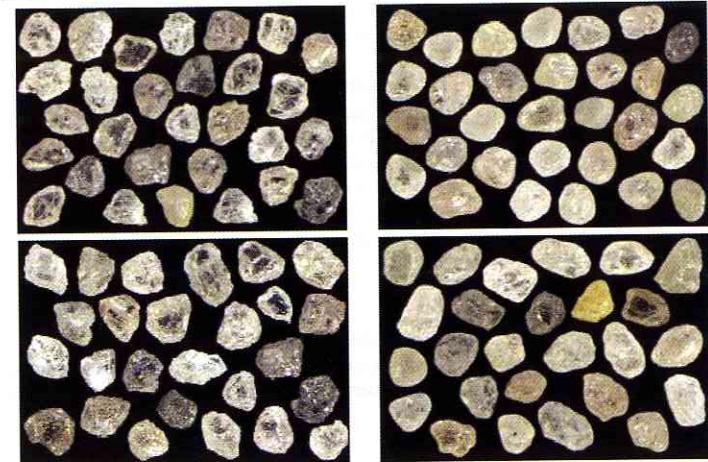


Рис. 5.11. Природные шлифовальные алмазные порошки

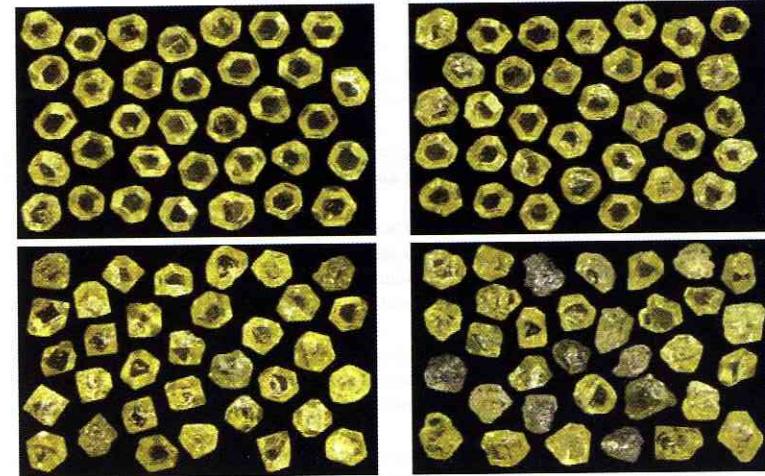


Рис. 5.12. Синтетические шлифовальные алмазные порошки

Эти физико-механические свойства обеспечивают исключительно высокую износостойкость алмазов на истирание. Она выше, чем у корунда в 90 раз. При шлифовании твердых сплавов расходуется в 600-3000 раз меньше алмазного порошка, чем другого абразива.

Алмазный порошок с одинаковым размером частиц обладает лучшими абразивными свойствами. Его изготавливают путем проведения операций:

а) стадийного дробления с рассевом;

б) очистки от примесей термической обработкой до 500°C, промывкой в растворах минеральных кислот.

Алмазные порошки в зависимости от размера зерен и метода их получения делят на группы:

шлифпорошки — размер зерен от 3000 до 40 мкм,  
микропорошки — размер зерен от 80 до 1 мкм и мельче,  
субмикропорошки — размер зерен от 1,0 до 0,1 мкм и мельче.

Размер зерен каждой фракции алмазных шлифпорошков определяют номинальными размерами сторон ячеек в свету двух контрольных сит в микрометрах, причем через верхнее сито зерна должны проходить, а на нижнем задерживаться.

Размер зерен алмазных микропорошков и субмикропорошков определяют полусуммой длины и ширины прямоугольника, условно описанного вокруг проекции зерна таким образом, чтобы большая сторона прямоугольника соответствовала наибольшей длине проекции зерна.

Алмазные шлифпорошки в зависимости от вида сырья, из которого они изготовлены, следует обозначать буквенными индексами:

А — из природных алмазов;  
AC — из синтетических алмазов;  
AP — из синтетических поликристаллических алмазов.

К буквенному обозначению шлифпорошков из синтетических поликристаллических алмазов добавляют буквенный индекс, обозначающий тип поликристаллического алмаза:

В — типа "баллас";  
К — типа "карбонадо";  
С — типа "спеки".

К буквенному обозначению шлифпорошков добавляют цифровой индекс, который выражает:

- в шлифпорошках из природных алмазов — содержание зерен изометричной формы, выраженное десятками процентов;

- в шлифпорошках из синтетических алмазов — среднее арифметическое значение показателей прочности на сжатие всех зернистостей определенной марки, выраженное в ньютонах;

- в шлифпорошках из синтетических поликристаллических алмазов — среднее арифметическое значение показателей прочности на сжатие всех зернистостей определенной марки, выраженное в сотых долях ньютонов.

Допускается добавлять к обозначению марки шлифпорошка дополнительный индекс, характеризующий отличительные свойства этой марки (например, Т — термостойкая).

Алмазные микропорошки и субмикропорошки в зависимости от вида сырья, из которого они изготовлены, следует обозначать буквенными индексами: АМ — из природных алмазов; АСМ — из синтетических алмазов.

При обозначении микропорошков из природных и синтетических алмазов повышенной абразивной способности индекс М должен быть заменен на индекс Н; АН, АСН. К буквенному обозначению субмикропорошков добавляют цифровой индекс, обозначающий долю зерен крупной фракции в процентах.

Шлифпорошки широкого диапазона зернистостей применяют на менее ответственных операциях, требующих получения повышенной точности обработки.

Пример условного обозначения шлифпорошка из синтетических алмазов марки АС6 зернистостью 160/125 (Шлифпорошок АС6 160/125 ГОСТ 9206-80).

Шлифпорошки по зернистости выпускаются двух диапазонов: широкого и узкого.

Зернистость алмазных шлифпорошков определяют по основной фракции, преобладающей по массе и обозначают дробью, числитель которой соответствует размеру стороны ячейки верхнего сита, а знаменатель — размеру стороны ячейки нижнего сита.

Таблица 5.10. Марки алмазных порошков, характеристика и область их применения

Марка алмазного порошка	Характеристика	Рекомендуемая область применения
Шлифпорошки		
A1	Из природных алмазов, получаемые дроблением, содержащие не менее 10% зерен изометричной формы.	Изготовление инструментов на металлических связках при обработке технического стекла, керамики, камня, бетона
A2	То же, содержащие не менее 20% зерен изометричной формы	Изготовление инструментов на металлических связках при обработке технического стекла, керамики, камня, бетона
A3	То же, содержащие не менее 30% зерен изометричной формы	Изготовление шлифовальных кругов на металлических связках, в том числе изготовленных гальваническим методом, для обработки камня из твердых пород, прочных бетонов, твердой керамики. Изготовление правящего, бурового инструментов, инструментов для строиндустрии и камнеобработки
A5	То же, содержащие не менее 50% зерен изометричной формы	Изготовление бурового и правящего инструментов, инструментов для камнеобработки и строиндустрии
A8	То же, содержащие не менее 80% зерен изометричной формы	Изготовление инструментов на органических связках, применяемых на чистовых и доводочных операциях при обработке твердого сплава и сталей
AC2	Из синтетических алмазов повышенной хрупкости, зерна которых представлены преимущественно агрегатами с развитой поверхностью	Изготовление инструментов на органических и керамических связках, применяемых при обработке твердого сплава, керамики других хрупких материалов
AC4	Из синтетических алмазов, зерна которых представлены агрегатами и сростками	Изготовление инструментов на металлических связках, работающих при повышенных нагрузках
AC6	То же, зерна которых представлены, в основном, несовершенными кристаллами, их обломками и сростками	Изготовление инструментов на металлических связках, работающих в тяжелых условиях (резка и обработка стекла, шлифование и полирование камня).
AC15	То же, зерна которых представлены, в основном, цельными кристаллами, их обломками и сростками, обладающие высокими прочностными свойствами, с коэффициентом формы зерен не более 1,6.	Изготовление инструментов, работающих в тяжелых условиях (черновое хонингование, обработка и резка стекла, железобетона)
AC20	То же, зерна которых представлены целыми кристаллами и их обломками и сростками, обладающие повышенной прочностью с коэффициентом формы зерен не более 1,5.	Изготовление инструментов, работающих в тяжелых условиях (чертежное хонингование, обработка и резка стекла, железобетона)
AC32	То же, зерна которых представлены, в основном, хорошо ограниченными цельными кристаллами и их обломками, обладающими повышенными прочностными свойствами, с коэффициентом формы зерен не более 1,2.	Изготовление инструментов на металлических связках (бурение, правка шлифовальных кругов, черновое хонингование, резка и обработка камня средней твердости).
AC50	То же, зерна которых представлены	Изготовление инструментов, работающих в

Марка алмазного порошка	Характеристика	Рекомендуемая область применения
	ны, в основном, хорошо ограненными целыми кристаллами и их обломками, обладающие повышенными прочностными свойствами с коэффициентом формы зерен не более 1,18.	особо тяжелых условиях (бурение пород IX—X категории буримости, резка гранитов, обработка строительных материалов, горных пород, керамики, кварцевого стекла, корунда).
APB1	Из синтетических поликристаллических алмазов, получаемых путем дробления синтетических алмазов типа "баллас".	Изготовление инструментов, применяемых для чернового хонингования чугунов, резки стеклопластиков.
APK4	То же, получаемые путем дробления синтетических алмазов типа "карбонадо".	Изготовление инструментов, работающих в тяжелых условиях (хонингование, камнеобработка, обработка материалов в строиндустрии).
APC3	То же, получаемые путем дробления синтетических алмазов типа "спеки".	Изготовление инструментов, работающих в особо тяжелых условиях (бурение, правка шлифовальных кругов, камнеобработка, обработка материалов в строиндустрии).
Микропорошки		
AM	Из природных алмазов нормальной абразивной способности.	Доводка и полирование деталей машин и приборов из закаленных сталей, сплавов, керамики, стекла, полупроводниковых и других материалов.
ACM	Из синтетических алмазов нормальной абразивной способности.	
AH	Из природных алмазов с повышенным содержанием основной фракции и повышенной абразивной способностью.	Доводка и полирование твердых и сверхтвёрдых труднообрабатываемых материалов, корунда, керамики, алмазов, драгоценных камней. Доводка и полирование твердых и сверхтвёрдых труднообрабатываемых материалов, корунда, керамики, алмазов, драгоценных камней.
ACH	Из синтетических алмазов с повышенным содержанием основной фракции и повышенной абразивной способностью.	
Субмикропорошки		
AM5	Из природных алмазов с содержанием крупной фракции до 5%.	
ACM5	Из синтетических алмазов с содержанием крупной фракции до 5%.	Сверхтонкая доводка и полирование поверхностей изделий, при обработке полупроводниковых материалов.
AM1	Из природных алмазов с содержанием крупной фракции до 1%.	
ACM1	Из синтетических алмазов с содержанием крупной фракции до 1 %.	

Зернистость алмазных микропорошков и субмикропорошков определяют размерами зерен основной фракции и обозначают дробью, числитель которой соответствует наибольшему и знаменатель - наименьшему размеру зерен основной фракции.

Таблица 5.11. Зернистость алмазных порошков

Зернистость, мкм	Размеры стороны ячейки сита в свету, мкм, при которых зерна основной фракции		Зернистость, мкм	Размеры стороны ячейки сита в свету, мкм, при котором зерна основной фракции	
	проходят через сито	задерживаются на сите		проходит через сито	задерживаются на сите
Широкий диапазон зернистостей				Узкий диапазон зернистостей	
2500/1600	2500	1600	2500/2000	2500	2000
			2000/1600	2000	1600
1600/1000	1600	1000	1600/1250	1600	1250
			1250/1000	1250	1000
1000/630	1000	630	1000/800	1000	800
			800/630	800	630
630/400	630	400	630/500	630	500
			500/400	500	400
400/250	400	250	400/315	400	315
			315/250	315	250
250/160	250	160	250/200	250	200
			200/160	200	160
160/100	160	100	160/125	160	125
			125/100	125	100
100/63	100	63	100/80	100	80
			80/63	80	63
63/40	63	40	63/50	63	50
			50/40	50	40

Таблица 5.12. Зернистость микропорошков и субмикропорошков

Зернистость, мкм	Размер зерен основной фракции, мкм	Зернистость, мкм	Размер зерен основной фракции, мкм
60/40	60—40	3/2	3—2
40/28	40—28	2/1	2—1
28/20	28—20	1/0	1 и мельче
20/14	20—14	0,7/0,3	0,7—0,3
14/10	14—10	0,5/0,1	0,5—0,1
10/7	10—7	0,3/0	0,3 и мельче
7/5	7—5	0,1/0	0,1 и мельче
5/3	5—3		

Зерновой состав алмазных порошков характеризуется совокупностью основной, крупной и мелкой фракций, выраженных в процентах: шлифопорошков по массе, микропорошков и субмикропорошков — по количеству зерен.

Таблица 5.13. Зерновой состав шлифпорошков

Зернистость, мкм	Размеры стороны ячейки сита, мкм, в свету, при которых										
	зерна должны проходить в кол-ве не менее 99,9% от общей массы	крупная фракция задерживается в количестве, не более, %					основная фракция задерживается в количестве не менее, %		мелкая фракция проходит в количестве от общей массы более 2% от зерен		
		8	10	12	13	15	90	80	75		
Широкий диапазон зернистостей											
2500/1600	3000	2500	-	-	-	-	1600	-	-	1250	
1600/1000	2000	1600	-	-	-	-	1000	-	-	800	
1000/630	1250	1000	-	-	-	-	630	-	-	500	
630/400	800	-	630	-	-	-	-	400	-	315	
400/250	500	-	400	-	-	-	-	250	-	200	
250/160	315	-	250	-	-	-	-	160	-	125	
160/100	200	-	-	160	-	-	-	-	100	80	
100/63	125	-	-	-	100	-	-	-	63	50	
63/40	80	-	-	-	-	63	-	-	40	-	
Узкий диапазон зернистостей											
2500/2000	3000	2500	-	-	-	-	2000	-	-	1600	
2000/1600	2500	2000	-	-	-	-	1600	-	-	1250	
1600/1250	2000	1600	-	-	-	-	1250	-	-	1000	
1250/1000	1600	1250	-	-	-	-	1000	-	-	800	
1000/800	1250	1000	-	-	-	-	800	630	-	630	
800/630	1000	800	-	-	-	-	-	500	-	500	
630/500	800	-	630	-	-	-	-	400	-	400	
500/400	630	-	500	-	-	-	-	315	-	315	
400/315	500	-	400	-	-	-	-	250	-	250	
315/250	400	-	315	-	-	-	-	200	-	200	
250/200	315	-	250	-	-	-	-	160	-	160	
200/160	250	-	-	200	-	-	-	125	-	125	
160/125	200	-	-	160	-	-	-	100	-	100	
125/100	160	-	-	125	-	-	-	-	80	80	
100/80	125	-	-	100	-	-	-	-	63	63	
80/63	100	-	-	-	80	-	-	-	50	50	
63/50	80	-	-	-	-	63	-	-	40	40	
50/40	63	-	-	-	-	50	-	-	-	-	

Для марок A1, A2, A3, AC2, AC4, AC6 зернистостью от 630/500 и мельче и для марок AC15 и AC20 зернистостью от 250/200 и мельче содержание основной фракции должно быть не менее 70%, крупной — не более 15%.

Таблица 5.14. Зерновой состав микропорошков и субмикропорошков

Зернистость, мкм	Размеры зерен для фракций			
	крупной, доля зерен которой должна быть не более 5%	основной, доля зерен которой должна быть не менее 70%	мелкой, доля зерен которой должна быть не более 25%	
60/40	от 60 до 80	от 40 до 60	от 20 до 40	
40/28	40 - 60	28 - 40	14 - 28	
28/20	28 - 40	20 - 28	10 - 20	
20/14	20 - 28	14 - 20	7 - 14	
14/10	14 - 20	10 - 14	5 - 0	
10/7	от 10 до 14	от 7 до 10	от 3 до 7	
7/5	7-10	5-7	2-5	
5/3	5-7	3-5	1-3	
3/2	3-5	2-3	1-2	Мельче 2
2/1	2-3	1-2	1	
1/0	1-2	не менее 95%	-	

Для марок АМ и АСМ содержание основной фракции должно быть не менее 65%, мелкой — не более 30%.

В микропорошках допускается не более 2% пластинчатых и удлиненных зерен, размер которых превышает наибольший размер зерна основной фракции не более, чем в 1,5 раза, при этом общая доля крупных зерен не должна превышать 5%.

Таблица 5.15. Зерновой состав субмикропорошков

Зернистость, мкм	Размеры зерен, мкм, для фракций		
	крупной, доля зерен; которой должна быть не более 1%	основной, доля зерен которой должна быть не менее 55%	мелкой, доля зерен которой должна быть не более 44%
0,7/0,3	от 1,0 до 0,7	от 0,7 до 0,3	Мельче 0,3
0,5/0,1	0,7 - 0,5	0,5 - 0,1	0,1
0,3/0	0,5 - 0,3	От 0,3 и мельче, не менее 99%	-
0,1/0	0,3 - 0,1	От 0,1 и мельче, не менее 99%	-

Для марок АМ5 и АСМ5 содержание зерен крупной фракции должно быть не более 5%, основной — не менее 50% мелкой — не более 45%.

Таблица 5.16. Марки алмазных порошков и их зернистость

Марка алмазного порошка	Диапазон зернистостей	Зернистость	
		Широкий	Узкий
A1		От 630/400 до 63/40	
		630/500	50/40
A2		630/400	63/40
		630/500	50/40
A3		630/400	63/40
		630/500	50/40
A5		630/400	63/40
		800/630	50/40

Марка алмазного порошка	Диапазон зернистостей	Зернистость	
A8	Широкий Узкий	630/400	63/40
		1250/1000	50/40
AC2	Широкий Узкий	160/100	63/40
		160/125	50/40
AC4	Широкий Узкий	160/100	63/40
		200/160	50/40
AC6	Широкий Узкий	250/160	63/40
		250/200	50/40
AC15	Широкий Узкий	400/250	63/40
		630/500	50/40
AC20	Узкий	500/400	50/40
AC32	Узкий	630/500	50/40
AC50	Узкий	800/630	50/40
APB1	Узкий	2500/2000	50/40
APK4	Широкий	2500/1600	63/40
APK4	Узкий	2500/2000	50/40
APC3	Узкий	2500/2000	50/40
AM, ACM, AH, ACH	Узкий	60/40	1/0
AMI, AM5, ACM1	Узкий	0,7/0,3	0,1/0

#### 5.4. Алмазные пасты

Алмазные пасты применяются на доводочных операциях для получения зеркальных поверхностей. Алмазные пасты готовятся на основе микропорошков и субмикропорошков природных или синтетических алмазов, по качеству отвечающих требованиям ГОСТ 9206-80.

Готовятся из переизмельченного материала, образующегося при изготовлении алмазных порошков. Крупинки частиц в пасте имеют размеры меньше 10 мкм. Применяются на доводочных операциях для получения зеркальных поверхностей. Алмазные пасты готовятся на основе микропорошков и субмикропорошков, затираемых на оливковом масле с добавлением жирных кислот, способствующих получению однородной и вязкой массы. В зависимости от обрабатываемого материала, требований шероховатости и условий процесса применяются пасты различной зернистости и концентрации алмаза.



Рис.5.13. Упаковка алмазных паст: шприцы, пластиковые банки.

**Классификация алмазных паст.** Алмазные пасты различают:

по смыываемости	по консистенции
смыываемые водой (В)	мазеобразными (М)
смыываемые органическими растворителями (О)	твердыми (Т)
смыываемые водой и органическими растворителями (ВО)	жидкими (Ж)

Таблица 5.17. Марки и зернистость алмазных паст

Марка алмазного порошка	Зернистость алмазного порошка диапазонов	
	узкого	широкого
A2, A3, AC2	125/100—50/40	100/63, 63/40
AM, ACM, AH, ACH	60/40—5/3	60/28—5/2
AM, ACM	3/2—1/0	3/0, 2/0
AMI, ACM1 AM5, ACM5	1/0,5—0,1/0	—

Таблица 5.18. Типы алмазных паст

Тип пасты	Смыываемость	Консистенция	Тип пасты	Смыываемость	Консистенция
А	ВО	М, Ж	Ф	ВО	М, Т
С	В	М, Ж	Б	В, ВО	М
Д	О	М, Ж	Г	О	М, Т
К	ВО	М, Ж	Л	ВО	М
Р	В, ВО	М, Ж	Х	В	М
Е	О	М	-	ВО	Т

Пасты изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 25593-83 или другой нормативно-технической документации из порошков природных или синтетических алмазов, наполнителей и связующих веществ.

Консистенция паст при температуре (20±5)°С по показаниям пенетрометра должна соответствовать: мазеобразной (М) — от 100 до 400 делениям пенетрометра, твердой (Т) — от 20 до 80, жидкой (Ж) — 400 и более.

Пасты изготавливаются с нормальной (Н), повышенной (П), высокой (В) массовыми долями алмазов. Массовая доля алмазов в пасте, цвет пасты и этикетки должны соответствовать указанным в табл. 5.19.

Таблица 5.19.

Зернистость алмазного порошка диапазонов	Массовая доля алмазов в пасте, %			Цвет пасты и этикетки
	узкого	широкого	Н	
125/100-80/63	100/63	40	60	-
63/50, 50/40	63/40	20	40	Сиреневый
60/40, 40/28	60/28, 40/20	8	20	40
28/20—14/10	28/14—14/7	6	15	30
10/7—5/3	10/5—5/2	4	10	20
3/2—1/0	3/0, 2/0	2	5	10
1/0,5—0,1/0	—	2	5	10
				Не окрашивается

Примечания. 1. В качестве красителя применяются синтетические красители растворимые в воде, спиртах, жирах и других органических растворителях.

2. По заказу потребителя допускается изготовление паст с другими массовыми долями алмазов и без красителя. Пример условного обозначения пасты из алмазных порошков марки ACM зернистостью 7/5 с нормальной массовой долей алмазов (Н), смыываемых водой (В), мазеобразной консистенции (М), типа (С)- паста алмазная ACM 7/5 Н В М С ГОСТ 25593—83.

Таблица 5.20. Область применения алмазных паст в зависимости от марок алмазных порошков

Марка алмазного порошка	Рекомендуемая область применения
A2, A3, AC2	Шлифование, грубая доводка различных материалов
AM, ACM, AH, ACH	Полирование, доводка, тонкое полирование различных материалов (сплавы черных и цветных металлов, цветные металлы, неметаллические

AMI, ACM1, AM5, ACM5	материалы) Тонкое полирование металлов, сплавов, неметаллических материалов
-------------------------	--

Таблица 5.21. Область применения алмазных паст в зависимости от их типа

Тип пасты	Рекомендуемая область применения
А	Обработка бериллия, тугоплавких металлов
С	Обработка полупроводниковых материалов
Д	Обработка цветных металлов и их сплавов
К	Обработка драгоценных, полудрагоценных и поделочных камней
Р	Обработка сталей, твердого сплава, стекла, заточка режущего инструмента из нитрида бора, полупроводниковых материалов
Е	Обработка закаленных сталей, чугуна
Ф	Обработка черных металлов
Б	Обработка поликорда, армированных пластмасс, сталей, полупроводниковых материалов
Г	Обработка черных и цветных металлов, их сплавов, неметаллических материалов
Л	Обработка сталей, стекла, полупроводниковых материалов
Х	Обработка стекла, полупроводниковых материалов, твердых сплавов

## 5.5. Алмазы и электроника

### Краткая физическая классификация алмазов

Физическая классификация алмазов основана на совокупности физических характеристик, выявляемых, главным образом, по спектрам поглощения во всем оптическом диапазоне. В настоящее время предполагается, что часть физических свойств алмазов является отражением дефектов их кристаллической решетки. По представлению Г.Б. Бокия с соавторами (1986), оптически активными дефектами являются:

- 1) дефект А, обусловленный замещением соседних атомов углерода в решетке алмаза двумя атомами азота по типу N-N. Наличие данного дефекта не сопровождается образованием парамагнитных свойств в кристаллах;
- 2) дефект В1, обусловленный азотными примесями. Также не сопровождается парамагнитным эффектом;
- 3) дефект С, обусловленный одиночным атомом азота, изоморфно замещающим атом углерода в решетке алмаза.

В соответствии с этим алмазы подразделяются на чистые и смешанные типы. К чистым относятся алмазы типов Ia, Ib, Pa, Pb.

Типы Ia и Ib – это алмазы, содержащие примеси азота, типы Pa и Pb – алмазы беспримесные. В структуру алмазов типа Ia входят непарамагнитные примеси – дефекты, а в кристаллах типа Ib, помимо упомянутых, имеет место парамагнитный азот. Алмазы типа Pa называют также безазотными (хотя небольшое количество его может и присутствовать). Алмазы типа Pb отличаются редкой для алмаза голубой окраской, высокой электропроводностью и необычной фосфоресценцией. По температурной зависимости электропроводности они являются полупроводниковыми.

Помимо этих четко очерченных типов, имеются кристаллы алмазов со смешанными свойствами. Их классифицируют как тип III, а чаще – как типы Ia + III и т.д.

### Алмаз как материал электронной техники

Всем известно преимущества алмаза как материала для полупроводниковой электроники в первом приближении сводятся к тому, что две основные характеристики – дрейфовая

скорость носителей тока и напряженность поля электрического пробоя имеют значения, близкие к предельным.

Применение алмаза как полупроводникового материала направлено на создание элементной базы высокотемпературной радиационно стойкой электроники с соответствующим повышением мощности, быстродействия и частотного диапазона.

Переход от кремния к более широкозонным алмазным полупроводникам (диоды, транзисторы, варисторы) обеспечивает повышение рабочих температур, допустимого обратного напряжения р-п переходов, а для СВЧ-приборов – повышение полезной мощности, КПД и предельной рабочей частоты.

Все эти свойства определяются параметрами материалов: шириной запрещенной зоны, максимальной скоростью дрейфа носителей тока, напряженностью поля лавинного пробоя, подвижностью электронов и дырок, теплопроводностью и температурой Дебая, которая, в свою очередь, достаточно близка к предельной рабочей температуре.

При температуре выше температуры Дебая начинают проявляться дефекты структуры полупроводника, поэтому температуры Дебая используется для приближенной характеристики термической стойкости материала. Для алмаза более точной границей термической стойкости является температура поверхностной графитизации (около 1700К в вакууме).

Существенным является превосходство алмаза в радиационной стойкости. Стойкость к потоку быстрых нейтронов (допустимая доза около  $10^{14}$  нейтр./см $^2$ ) в 100 раз выше, чем у кремния.

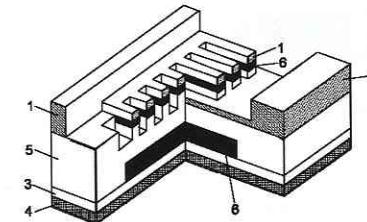


Рис. 5.14. Схематическая структура мощного СВЧ-транзистора с проницаемой базой на основе природного алмаза: 1 - эмиттер; 2 - база; 3 - омический контакт коллектора; 4 - подложка; 5 - природный алмаз Pb; 6 -  $p^+$ -слой

Стойкость к потоку быстрых электронов около 2 Мрад (Доза 1 Мрад соответствует энергии 10 Дж на 1 г вещества), также велика. Алмаз имеет существенные преимущества перед Si и GaAs как материал оптоэлектроники. В приборах пикосекундной оптоэлектроники используется плазма носителей тока, генерированная мощным оптическим излучением. Более высокая теплопроводность и электрическая прочность алмаза определяют большую стойкость к электрическому напряжению и импульсному току, т. е. позволяют создать более высоковольтные и мощные приборы.

### Алмазные теплоотводы и подложки

При разработке алмазных теплоотводов сталкиваются с двумя принципиальными техническими проблемами – отбором сырья с высокой теплопроводностью и технологией металлизации. Установлено, что наибольшей теплопроводностью из природных кристаллов (20 Вт/см·К) обладают безазотные алмазы группы Pa. Сохранить высокую и чисто фононную по своей природе теплопроводность при монтаже прибора на теплоотвод позволяет трехслойная металлизация Ti/Pt/Au.

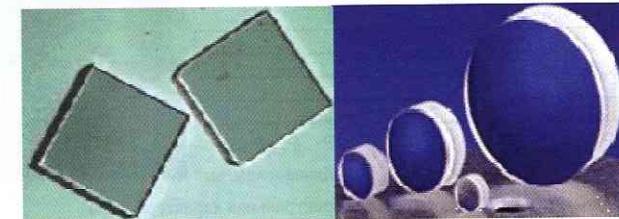


Рис. 5.15. Алмазные теплоотводы и подложки

Создание высокотеплоотводных алмазных подложек для электронных приборов является одним из фундаментальных направлений алмазной технологии. Так, например, прогресс оптических ЭВМ зависит от качества (частоты, мощности) гетеропереходных лазерных диодов типа InAs/AlInAs, пороговый ток которых ограничен из-за большой тепловой мощности значениями 10-20 мА.

Весьма перспективны алмазные подложки для матриц памяти на аморфных полупроводниках, для пороговых переключателей и других приборов с S- и N-образной ВАХ.

#### Алмазные детекторы

Алмазные детекторы предназначены для измерения энергетического спектра, измерения интенсивности потока высокоэнергетичных заряженных частиц, регистрации импульсов и в излучении с высоким времененным разрешением.

Основные преимущества алмазных детекторов излучения:

- регистрация всех типов излучения одновременно;
- возможность создания многодетекторных систем;
- высокая стойкость к гамма-излучению и химически агрессивным средам.

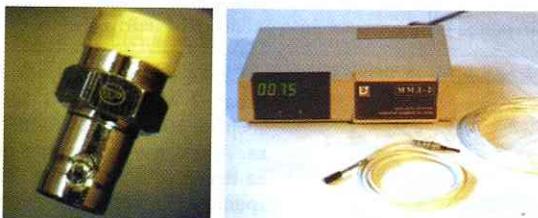


Рис. 5.16. Алмазный детектор ионизирующих излучений

#### Приемники УФ излучения на основе природного алмаза

Основные применения:

- контроль излучения мощных УФ-эксимерных лазеров, УФ-ламп и других источников в диапазоне 180-230 нм (ФА-1) или выше 300 нм (ФА-2/3);
- контроль и управление источниками УФ стерилизации;
- научные исследования;
- фотохимические реакции;
- устройства стерилизации;
- бактерицидные лампы;
- системы для контроля возгораний, детекторы пламени;
- солнечно-слепые системы контроля состояния озонового слоя;
- аппаратура для геофизического контроля и картографии.

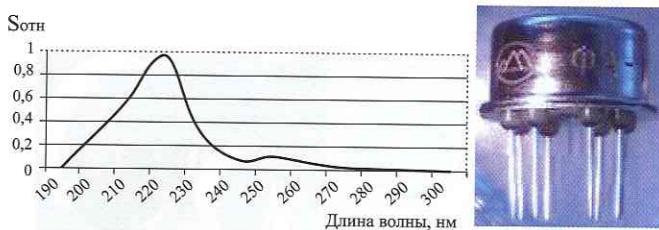


Рис. 5.17. Относительная спектральная характеристика фотодетекторов на основе природного алмаза

#### Светоизлучающие приборы

В настоящее время все большее внимание привлекает использование алмаза для генерации лазерного излучения. Действительно, в алмазе наблюдаются и узкие, и широкие линии люминесценции, связанные с различными центрами, в широкой области спектра - от инфракрасной до ультрафиолетовой. Это сочетается с высокой теплопроводностью и стабильностью центров. Алмаз представляется исключительно перспективной средой для возбуждения генерации в разных диапазонах, в том числе и в режиме с перестройкой по частоте.

Для стимулирования лазерных свойств кристаллы с большим содержанием А-дефектов подвергают ионизирующему излучению для образования вакансий углерода с последующим длительным отжигом, обеспечивающим миграцию вакансий по кристаллу с образованием НЗ-центров. Радиационное наведение вакансий может осуществляться в потоке электронов, или у-, или рентгеновским излучением.

## ГЛАВА VI. ЭКОНОМИКА И РЫНОК

### 6.1. История развития алмазного рынка

#### 6.1.1. История развития алмазного рынка

История алмаза насчитывает несколько тысячелетий. Основываясь на древних легендах и рукописях, большинство исследователей считают, что впервые алмаз был найден в Индии примерно в 5-3 тысячелетии до н.э., а целенаправленная добыча их началась за 600 лет до н.э. Первое научное описание алмаза было сделано в IV в. до н.э.

Первым в мире производителем ювелирных алмазов была Индия, которая и начала их ценить, прежде всего, за прозрачность, блеск и игру света, т.е. за ювелирные качества.

В средние века, примерно в 8 веке, алмазы стали широко использоваться в ювелирном деле. К этому времени, после Магелланова открытия, венецианские торговцы наладили поставку из Индии в Европу прозрачных и чистых кристаллов, оптические свойства которых были к тому времени хорошо известны.

Экспорт алмазов из Индии в Европу значительно увеличился после того, как известный мореплаватель Васко да Гамма открыл морской путь из Португалии в Индию, после чего португальцы создали в Индии разветвленную сеть по закупке алмазов. Тем не менее, значительный вес как центр торговли алмазами стал приобретать Антверпен, куда, после изгнания из Португалии в 1498 г., в массовом порядке переселились еврейские специалисты. Однако из-за войны с Испанией часть торговцев переместилась в Амстердам, а часть – в Лондон.

До начала 18 в. из Индии в страны Европы и ближнего Востока было поставлено примерно 30 млн. каратов необработанных алмазов. Когда в 1727 г. в Бразилии были открыты и начали разрабатываться новые месторождения алмазов, экспорт алмазов из Индии практически прекратился. При этом ежегодный поток алмазов из Бразилии был примерно в 10 раз больше, чем из Индии, а к 1850 г. он достиг отметки 300 тыс. каратов. Неудивительно, что цена на алмазы резко упала. После 1730 г. цены на бриллианты упали за пять лет на 75 процентов. Чтобы поддержать цены, португальцы, которые в те времена были монополистами в торговле алмазами с Европой и Востоком и чье коммерческое и политическое влияние на Бразилию было достаточно велико, вынуждали бразильцев экспорттировать алмазы в португальские конторы в Индии, а оттуда, завозили их в Европу, но уже как высокого качества и дорогие индийские алмазы, к которым привык мир. Уже тогда осознали, что для интереса к товару надо поддерживать миф о его редкости и ограниченном количестве. Но в целом нарастающий объем добычи и неконтролируемая реализация на рынке привели к конкуренции, к избыточному предложению на рынке и росту цен на камни. Тут и появился первый отголосок монопольного контроля рынком, когда основной объем добычи стал сбываться с единого Лондонского центра. Цены стали повышаться, и этот опыт стал позитивным вариантом для достижения стабильности на рынке.

На протяжении почти 150 лет Бразилия обеспечивала рынок алмазов и растущие потребности в них Европы и Северной Америки. После 1850-х гг., когда известные бразильские месторождения алмазов почти истощились и перестали обеспечивать потребности торговли, на европейском рынке появились алмазы из Южной Африки. Появление их на рынке относят к зиме 1870/71 гг. Разработка новых месторождений в Южной Африке обеспечила к 1880 г. ежегодную поставку на рынок до 3 млн. карат необработанных алмазов, т.е. в 10 раз больше, чем давала Бразилия в лучшие годы добычи.

Африканские месторождения были больше сконцентрированы территориально, а содержание в них алмазов было выше, поэтому и себестоимость их добычи оказалась ниже, чем бразильских.

В этот период происходит становление монополизированного алмазного рынка. Многочисленные старатели приступили к разработке месторождений. Участки расширялись настолько быстро, что скоро оказались абсолютно не разграничены, превращаясь в общие ямы. Тогда и были придуманы «канатные дороги», но они не спасли от завалов и гибели людей.

Было ясно, что только контроль и объединение капиталов всех участников поможет исправить ситуацию, а также перейти на закрытые формы добычи.

Первым кто понял, что объединение участков или их владельцев на трубке является важнейшей предпосылкой к организации успешной добычи и реализации алмазов, стал англичанин Сесиль Джон Родс, владелец нескольких участков на трубке Де Бирс. Поэтому в 1881 году он основал со своими единомышленниками компанию De Beers Mining Company Ltd.

Заручившись поддержкой финансового дома Ротшильдов С.Родс начинает скупать другие участки и сталкивается с конкурентом - владельцем большинства участков на руднике Кимберли - Барни Барнато. Вскоре Родс выигрывает борьбу и регистрирует 13 марта 1888 г. новую объединенную компанию De Beers Consolidated Mines, взявшую под контроль два наиболее богатых рудника – Де Бирс и Кимберли. Главными акционерами становятся Родс, Радд, Барнато и Ротшильды. Номинальный капитал компании составил 100 тыс. фунтов стерлингов, были выпущены акции в количестве 1 млн. штук на сумму 5 млн. фунтов стерлингов. Затем компания устанавливает контроль над другими рудниками и контролирует 90 процентов мировой добычи.

Используя опыт бразильского перепроизводства алмазов в 18 в., Сесил Родс пришел к выводу, что необходимо регулировать объем добычи в зависимости от колебаний мирового спроса и налаживать торговлю алмазами через особые, тщательно отобранные каналы. Всякий раз, когда предложение превышало спрос из-за появления нового производителя либо из-за желания каждого субъекта получить максимальную прибыль за счет продажи своих алмазов в неограниченном количестве – на рынке обязательно возникала конкуренция и цены начинали падать. При этом нестабильность спроса и цен вредила не только производителям, она мешала и потребителям алмазов, лишала их уверенности. Главным направлением алмазного бизнеса стал поиск производственно-комерческой структуры, способной обеспечить эффективный контроль над спросом и предложением.

Для этого в 1889 г. был создан некий консорциум - Алмазный Синдикат, образованный примерно десятью торговыми фирмами. Несмотря на то, что с 1894 по 1898 гг. благодаря сотрудничеству добывающей компании Де Бирс и торгового Синдиката добыча выросла с 2,7 до 3,6 млн. карат, цена на необработанные алмазы оставалась стабильной. Синдикат разработал и установил для фирм-участниц квоты на скупку ими добытых алмазов с рудников. Такие меры сразу же привели к подъему цен и росту доходов компании «Де Бирс».

Основным принципом рынка стали слова С. Родса: «Если бы на всем свете было только четыре покупателя, то надо было бы продать столько алмазов, чтобы их хватило лишь для двух».

XX в. ознаменовался новыми открытиями месторождений алмазов: 1902 г. – трубка «Премьер» в ЮАР; 1908 г. – Намибия; 1910 г. – Занзибар и Танзания; 1919 г. – Гана; 1930 г. – Сьерра Леоне; 1973 г. – Ботсвана. В 1993 г. средства массовой информации оповестили мир о sensationalной находке крупного месторождения алмазов в провинции Британская Колумбия (Канада) недалеко от озера Лак-де-Грас. Как менялась структура рынка за это время?

В 1902 г. в Южной Африке было открыто новое месторождение «Премьер». Для его разработки было создано независимое акционерное общество Premier. Сесил Роде – «мотор» «Де Бирс» к тому времени уже умер. Новое руководство «Де Бирс» проявило пассивность в отношении эксплуатации месторождения «Премьер» и утратила контроль над добычей алмазов. Совет директоров «Премьер» не собирался проводить совместную с «Де Бирс» политику сбыта, а вместо этого наладил собственную сеть реализации и принял наращивать добычу алмазов. Таким образом, была установлена двухканальная система сбыта. Некоторое время рынок без труда поглощал продукцию обеих компаний. Америка, на которую приходилось 70% продаж, находилась в стадии экономического роста.

В 1907 г. в США произошел биржевой крах (финансовый кризис продолжался год), и спрос на алмазы резко сократился. Три основных игрока («Де Бирс», Синдикат и рудник «Премьер») провели переговоры и достигли соглашения, что объем продаж нового рудника будет на уровне 50% от продаж «Де Бирс». Возникла третья схема организации рынка в виде

«мягкой» ассоциации. Некоторое время добыча велась в рамках согласованных квот. Однако в 1908г. по причине ухудшения спроса руководство Синдиката предложило еще больше сократить добычу. Совет директоров «Премьера» заподозрил, что Синдикат - послушное орудие в руках «Де Бирс» - сознательно преувеличивает размеры кризиса перепроизводства. «Премьер» вернулся к продаже алмазов по собственным каналам, примирившись с резким падением цен. 31 июля 1908г. De Beers пришлось закрыть рудники на несколько месяцев.

Через несколько лет в немецкой колонии в южноафриканской пустыне (современная Намибия) нашли богатые россыпные месторождения алмазов, и уже в 1912 г. здесь стали получать 20% мировой добычи. Появился новый крупный игрок алмазного рынка. Намибийские алмазы сбывались через берлинскую независимую компанию, которой удалось заключить с антверпенскими дилерами контракты на условиях более выгодных, нежели те, которые предлагал лондонский Синдикат. Значение Лондона как ведущего центра пошатнулось. Теперь Антверпен, развивший мощную гравильную промышленность и организовавший несколько алмазных бирж, получил в лице германской компании прямой источник алмазов высшего качества.

В 1915г. на мировом алмазном рынке произошло важное событие: после переговоров четырех крупнейших производителей алмазов Южной Африки был образован международный алмазный картель. Каждый производитель получил свою квоту: De Beers - 48,5%, German Diamond Administration - 21%, «Премьер» - 19,5%, «Ягерсфонтейн» - 11%. Все алмазы должны были продаваться оптовыми партиями Синдикату (или Центральному торговому агентству, Central Selling Agency), причем в первый год на определенную сумму, а в последние годы планировался рост поставок. Однако первая мировая война нарушила эти соглашения - Англия (и ЮАР) оказались в состоянии войны с Германией, и поэтому предприниматели этих стран не могли сотрудничать.

В 1917г. энергичный предприниматель Эрнст Оппенгеймер (выходец из Германии) вместе с американским банкирским домом Моргана создали англо-американское общество для разработки минеральных ресурсов Южной Африки под названием Anglo-American Corporation of South Africa (AAC). В 1919г. Оппенгеймер скупил шесть «немецких» приисков алмазов и создал собственную компанию Consolidated Diamond Mines (CDM).

Тем временем алмазный рынок переживал послевоенный бум, и Синдикат подписал 5-летние контракты с крупнейшими производителями алмазов. Квоты распределились так: De Beers - 51%, опренгеймеровская CDM - 21%, «Премьер» - 18% и «Ягерсфонтейн» - 10%. Образовалась новая схема организации алмазного рынка - «4+1», то есть 4 производителя и скомпактированный Синдикат, причем наметилось сращивание одного из производителей с торговым консорциумом.

В 1924г. алмазный картель в очередной раз распался: истек срок 5-летних контрактов с Синдикатом, противоречия между производителями относительно квот не позволили достичь договоренности о новом соглашении. Инициативу проявил Оппенгеймер, который контролировал только 20% добычи.

Э. Оппенгеймер ровно через год - в октябре 1925г. - организовал (в форме акционерного общества) «новый Синдикат», где контролировал 45%. При поддержке дружественных ему акционеров он вошел в состав совета директоров крупнейшего производителя алмазов «Де Бирс», а с 1929г. стал председателем этой компании (и, кстати, крупным акционером). Таким образом, в конце 1920-х годов начал функционировать первый вариант одноканальной системы сбыта алмазов.

Однако пока Оппенгеймер распространял свое влияние на ограниченную группу крупных производителей и оптовиков, в Южной и Западной Африке обнаружили новые месторождения, на которых начали энергично действовать мелкие независимые производители. С 1925 по 1927гг. они удвоили мировую добычу алмазов. Сложилась двойственная ситуация. Половину добычи и продаж контролировала группа De Beers в связке с Синдикатом, а на другой половине мирового алмазного рынка действовало множество независимых старательей и дилеров. То есть в конце 1920-х годов действовала половинчатая монополия. По воле

случая расширение алмазного рынка совпало с пиком спроса в США, что было связано с бурным экономическим развитием страны. Всем сопутствовал успех — и группе De Beers, и независимым предпринимателям. Однако это продолжалось недолго.

Мировой кризис 1929г. привел к депрессии алмазного рынка: спрос упал в 6-10 раз, а цены на алмазы - в 2 раза. Множество мелких фирм, стартелей и торговцев обанкротилось. «Де Бирс» приняла единственно правильное в то время решение: прекратить добычу и законсервировать рудники на некоторый срок. Глава группы De Beers Оппенгеймер во время пика кризиса в 1934г. решил создать тотальную алмазную монополию. Он заключил многолетние договора не только с ведущими независимыми производителями алмазов, но и с представителями правительства южной и юго-западной Африки.

Каждому были выделены определенные квоты поставок алмазов из запасов и из текущей собственной добычи, а также квоты для заключения внешних контрактов. Фактически было создано финансово-промышленное частно-государственное международное совместное предприятие в форме акционерного общества открыто-типа. Число корпоративных акционеров составило не сколько десятков. Однако из-за того, что крупный пакет акций принадлежал Оппенгеймеру, алмазная монополия в сущности оказалась под его контролем. Хотя ее внутренняя формальная структура менялась несколько раз, суть осталась прежней - группа открытых акционерных обществ с взаимным владением акций, контролируемая семейной закрытой компанией «E. Oppenheimer & Sons». Основной пакет акций сперва перешел к сыну Гарри, теперь же ими владеет внук Николас. И это будет продолжаться, переходя от одного поколения к другому.

Надо сказать, что господство на алмазном рынке, давалось «Де Бирс» нелегко. Компания постоянно находилась под давлением конкурентов, и ей периодически приходилось отставать разного рода атаки со стороны американских, бельгийских, французских промышленных и финансовых групп, а также национальных движений в Африке.

С распадом колониальной системы в Африке появились политически независимые государства - Гана, Сьерра-Леоне, Заир, Танзания, Ангола, Ботсвана, Намибия. Правительства этих стран начали устанавливать контроль над алмазодобывающей промышленностью, ранее фактически подчинявшийся и «Де Бирс». К 1977 г. все крупнейшие алмазодобывающие компании Африки, находящиеся за пределами ЮАР и Намибии, были частично или полностью национализированы, в результате чего De Beers испытала двойной ущерб: как совладелец соответствующих алмазодобывающих компаний и как торговая монополия. Гана и Заир пошли на полный, а Сьерра-Леоне — на частичный разрыв отношений с ЦСО. Республика Заир полностью национализировала алмазные прииски. Однако опыт их самостоятельных выступлений на алмазном рынке был трудным. Им удавалось продавать алмазы только с существенными скидками, причем примерно половину камней скупали агенты «Де Бирс», и тем самым алмазы все равно попадали в систему ЦСО. Например, государственная заирская компания Sozacom, несмотря на продолжающиеся переговоры с ЦСО, прошла в мае 1981г. 620 тыс. каратов алмазов трем независимым торговым фирмам Бельгии и Англии, в результате чего Заир получил больше, чем если бы продавал алмазы через ЦСО. В июне 1981г. Sozacom объявила о подготовке еще одной операции, что обеспокоило ЦСО, которое начало новые переговоры с Заиром. Дело в том, что Заир соглашался подписать контракт с ЦСО на продажу 25—40% добываемых алмазов, однако ЦСО не ставило на закупку всех добываемых в Заире алмазов для сохранения контроля над ценами и алмазным рынком. Наконец, «Де Бирс» решился на демпинг, в значительных количествах выбросил на рынок из своих запасов «заирский товар», опустив цену на него в три раза. В этих условиях правительство Заира решило от казаться от «самодеятельности» и подписало соглашение с ЦСО на условиях «Де Бирс».

В целом опыт последних лет показывает, что при проведении самостоятельной экспортно-сбытовой алмазной политики в условиях противодействия со стороны ЦСО страны-продавцы сталкивались с трудностями:

- а) поиска выгодной и устойчивой клиентуры, заключения долговременных контрактов, обеспечивающих сбыт алмазов даже при неблагоприятной обстановке на алмазном рынке;
- б) подготовки кадров сортировщиков алмазов, а также опытных специалистов для проведения торговых операций;
- в) отсутствия широкого ассортимента алмазов (в отличие от того, что предлагает ЦСО), что затрудняет гибкое реагирование в условиях меняющегося спроса и ограничивает круг возможных клиентов.

Если подвести итог деятельности ТНК «Де Бирс» в 1930—1980-е гг., то в целом можно отметить два устойчивых суждения о ней.

#### 1. Положительное суждение о De Beers

Партнеры, дружественные банкиры, лояльные подданные «алмазной империи» считают, что алмазную монополию следует оценить однозначно положительно. По их мнению, De Beers — архитектор мирового алмазного рынка, несомненная ценность в своем роде. Сравнение алмазного рынка с рынками других минералов и полезных ископаемых (например, золото, никель, медь) показывает высокую стабильность алмазного рынка как результат рационального регулирования. Что касается способа регулирования, то алмазная монополия под контролем одного главного центра (De Beers) доказала свое превосходство над «демократическими» картелями типа нефтяного ОПЭК или Оловянного картеля. Часто повторяются слова Гарри Оппенгеймера: «Возможно, что De Beers — это монополия; но это добрая монополия».

#### 2. Неприязненное суждение о De Beers

Аутсайдеры алмазного бизнеса, новички, принципиальные противники любой монополии считают, что De Beers узурпировала механизм принятия решений в сырьевом секторе алмазного хозяйства, выстроила оборонительную иерархическую структуру, участники которой заняты по существу сохранением монопольных сверхприбылей. В итоге новичку трудно войти в эту закрытую систему и тем более занять в ней устойчивое положение без протекции De Beers, за которую приходится платить лояльностью и информацией. Критики De Beers обращают внимание на то, что монополия отлично выполняет свои функции только на пропагандистском уровне.

Трезвый взгляд на вещи состоит в том, что своей деятельности ЦСО реально доказала возможность эффективного сглаживания ценовых флюктуаций мирового алмазного рынка. Правда, за свои усилия она получает монопольную сверхприбыль. Эта сверхприбыль была аккумулирована в значительные денежные запасы, направлена в диверсифицированные производства фундаментальных ресурсов (медь, уран, платина, ванадий и др.), использована для налаживания устойчивых связей с мировыми финансово-промышленными группировками и влиятельными политическими силами. Группа «Де Бирс» с активами в \$15 млрд. — это крупная компания по мировым меркам и огромное предприятие по масштабам мирового алмазного хозяйства.

#### 6.1.2. Конкуренция и монополия алмазного рынка

Современная рыночная экономика характеризуется сосуществованием, переплетением конкуренции и монополии. Очень важной является проблема их соотношения. Можно вести речь о диалектическом единстве монополии и конкуренции. Монополия создает конкуренцию, конкуренция создает монополию. Синтез заключается в том, что монополия может удержаться благодаря тому, что она постоянно вступает в конкурентную борьбу. В таких условиях конкуренция перестает быть единым регулятором производства.

На основе анализа монополии можно сделать вывод, что монополистические тенденции в экономике вытекают из закона максимизации прибыли. Иной движущей силой действий предпринимателей в этом направлении является закон концентрации производства и капитала. Появление предприятий-монополистов обусловлено прогрессом производительных сил, реализацией преимуществ крупного предприятия над малым.

На основе монополизации сферы обращения возникла одна из простейших форм монополистических объединений — картель. Для участия в картеле наиболее предпочтительны следующие пять особенностей производителей. Во-первых, производители должны стремиться к долгосрочному участию на рынке. Без такого стремления они могут поддаться искушению разрушить картель: либо продавая больше продукции, чем позволяют картельные соглашения, либо же продавая продукцию по ценам ниже согласованных, тем самым максимизируя свою сиюминутную прибыль. Во-вторых, они должны иметь значительные финансовые резервы, поскольку, когда спрос падает или растет предложение, производители должны коллективно уменьшать выход продукции и тем самым отказываться от прибыли, которую они могли бы получить. В-третьих, наиболее крупные производители должны быть независимыми. Производитель, будь то частная корпорация или государство, должен быть правомочен заключать заслуживающие доверия соглашения и придерживаться их исполнения. В-четвертых, по меньшей мере, один из основных производителей должен иметь возможность «наказать» тех членов картеля, которые нарушают взятые на себя обязательства. И, наконец, производители должны иметь политическую волю участвовать в картеле.

Торговля алмазами протекала в условиях практически непрерывного принудительного регулирования поставок сырья на мировой рынок. До настоящего времени на практике были опробованы 5 способов регулирования алмазного рынка:

- мягкая ассоциация производителей и оптовых торговцев;
- 5-летние эксклюзивные договоры производителей и торговцев (алмазная картель);
- двухканальная система сбыта;
- «полумонополия» (одна группа контролирует 50 % рынка);
- глобальная алмазная монополия.

#### 6.2. Современное состояние алмазно-бриллиантового рынка

##### 6.2.1. Структура алмазно-бриллиантового рынка

Мировой алмазно-бриллиантовый комплекс (АБК) отличается сложными и обширными связями между предприятиями производственной и непроизводственной сфер. Он включает в себя практически все структурные элементы мировой экономики: первичные отрасли (добычу алмазов), вторичные отрасли (производство бриллиантов, изготовление ювелирных изделий с бриллиантами, производство изделий промышленного назначения из технических алмазов), третичные отрасли (оптовую торговлю алмазами и бриллиантами, оптовую и розничную торговлю ювелирными изделиями с бриллиантами и изделиями из технических алмазов) и четвертичные отрасли (реклама бриллиантов и ювелирных изделий с бриллиантами).

Наиболее существенной чертой, объединяющей перечисленные отрасли в один комплекс, можно считать тезаврационные свойства производимой в нем продукции — алмазов, бриллиантов, изделий с бриллиантами (в силу отсутствия у них сроков эксплуатации). Это, с одной стороны, делает алмазобриллиантовый рынок достаточно устойчивым и перспективным, а с другой стороны, способно в экстремальных условиях его обрушить (в случае выброса всего накопленного товара на рынок его стоимость превысит несколько триллионов долларов).

Основой любого многоотраслевого комплекса является его сырьевая база. Поэтому перспективы развития АБК определяются уровнем обеспеченности алмазным сырьем, что приводит к постоянному увеличению затрат на добычу. При этом увеличение расходов на добычу алмазов сопровождается и увеличением объемов их добычи.

Ведущими производителями природных алмазов по-прежнему остаются Ботсвана (около 25 % добычи в стоимостном выражении), Россия (20%), Канада (15%), ЮАР (10%), Ангола (10%), Конго (10%), Австралия (5%), Намибия (5%). Однако их доля в общем объеме добычи алмазов изменяется.

Наиболее высококачественные алмазы добывают на рудниках Намибии (континентальная добыча - 361 долл./кар., морская добыча - 328 долл./кар.), ЮАР (прииск "Тирисано" - 440 долл./кар., прииск "Луарика" - 300 долл./кар., "Коффифонтеин" - 259 долл./кар., "Намаквленд" - 143 долл./кар., "Оакс" - 143 долл./кар.), Ботсваны ("Летлхаканс" - 244 долл./кар., "Джваненг" - 133 долл./кар.), Канады ("Экати" - 144 долл./кар.). Наименее качественные алмазы добывают в Австралии ("Аргайл" - 11 долл./кар.), ДРК ("Миба" - 13 долл./кар.), Гане (25 долл./кар.).

Традиционные экспортёры алмазов - это главные их продуценты: Австралия, Ботсвана, Конго, ЮАР, Ангола, Канада, Намибия (на их долю приходится около 79% мирового "первичного" экспорта), Россия. Однако в торговле алмазами большое значение имеют еще и реэкспортные операции: более 62% (по стоимости) "вторичного" рынка алмазов контролирует корпорация "De Beers", используя систему контрактных поставок от производителей (Ботсвана, Россия, ЮАР, Намибия, Танзания, Канада и др.).

Главные импортеры алмазов - Бельгия, Израиль, Индия, а также Великобритания - страны, в которых осуществляются международные оптовые торговые операции с алмазами и переработка их в бриллианты (в расположенную в Лондоне компанию DTC стекаются алмазы от всех поставщиков "De Beers"); на их долю приходится 90% объема мирового импорта.

Мировое производство синтетических алмазов в стоимостном выражении меньше добычи природных алмазов практически в 9 раз (1 млрд. долл. в год), однако в весовом выражении превышает объемы добычи природных алмазов в 4 раза. Лидерами в их производстве являются компании США ("Mypodium Inc.", выкупившая производство у компании "Du Pont Industrial Diamond Division", "GE Superabrasives Worthington OH", владелицей которой является "General Electric"), России, Ирландии ("Shannon Diamond & Carbide"), ЮАР ("De Beers"), Японии ("Sumitomo Electric"). Цена на синтетические алмазы находится в интервале 0,1-4 долл./кар. и постоянно снижается вследствие внедрения новых технологий и роста числа продуцентов с низкой себестоимостью производства - в основном, в России и Китае.

Главными областями их применения являются: заточка и доводка твердосплавных режущих инструментов, обработка деталей машин и измерительных инструментов из твердых сплавов и легированных сталей, хонингование и суперфиниширование деталей из чугуна и стали; обработка изделий из высокопрочных и жаропрочных материалов; обработка полу-проводников и ферритов; обработка строительного и поделочного камня, бетона; точение цветных металлов и сплавов, пластмасс; волочение проволоки из меди, вольфрама, молибдена; правка шлифовальных кругов; бурение скважин; производство компьютерных чипов; изготавление бриллиантов.

Следует отметить следующие отличия АБК от других глобальных мезоэкономических комплексов.

1. Высокая стоимость конечного продукта, его тесная связь с производством драгоценных металлов (золото, платина, палладий) и быстрый рост добавленной стоимости по мере обработки сырья.
2. Разнородность экономики первичных, вторичных, третичных и четвертичных отраслей АБК и неравномерность их размещения с учетом того, что конечный ювелирный продукт не является предметом первой необходимости и реализуется преимущественно в богатых странах.
3. Высокая степень монополизации, глобальная монополия одной компании в сфере распределения и оптовой торговли бриллиантами.
4. Интенсивная интернационализация, основанная на кооперации различных стран и регионов с учетом уникальности и нестандартности бриллиантов.

Золото и бриллианты издавна служили символом могущества и национального благополучия стран мира, однако и в XXI веке невозможно представить международную торговлю без рынка алмазов и бриллиантов. Практически все участники мирового сообщества в той или иной степени являются его участниками, наращивая национальное богатство или явля-

ясь продуцентом алмазов. Цена 1 карата бриллианта чистой воды в 5-6 тысяч раз выше карата (0,2г.) золота.

Сфера применения натуральных алмазов широка и разнообразна, включая не только потребительский сектор, но и металлургию, машиностроение, приборостроение, радиоэлектронику, оптико-механическую, горнодобывающую, нефтедобывающую, медицинскую промышленность, геологоразведку, военную технику. Применение алмазов позволило не только резко повысить производительность труда, но и создало возможность для появления качественно новых технологий, аппаратуры, инструмента.

Стоимость мирового рынка алмазов оценивается аналитиками примерно в 10 млрд. долл., а ювелирных изделий с бриллиантами - порядка 60 млрд. долл. Это толкает горнодобывающие компании на поиск путей к конечному потребителю.

Главным рынком сбыта бриллиантов являются США (47%), затем следуют страны Азии (21%), Япония (15%) и лишь затем - Европа (11%).

Розница остается центром прибыли бриллиантового бизнеса. Помимо высокой маржи горнодобывающие компании интересуют относительно небольшие ценовые колебания на готовую продукцию, которые характерны для основного бизнеса компаний. Это толкает на новые рынки крупные горные концерны. Событием последних лет стала попытка вхождения на рынок канадской компании BHP Billiton. Концерну удалось закрепиться на рынке. Компания продвигает во всем мире свой бренд Auris и позиционирует свою трубку Ekati как «истинно» канадское предприятие и «новый источник света в бриллиантовом бизнесе». Компания эксплуатирует тему честного и прозрачного бизнеса для закрепления на американском рынке, где главный национальный розничный продавец - компания Whitehall Jewellers, владеет сетью около 400 магазинов.

## 6.2.2 Интернационализация рынка

### 6.2.2.1 Интернационализация мирового рынка

Характерной чертой современного мирового хозяйства стала интернационализация хозяйственной жизни, под которой понимается рост производственной взаимосвязи национальных экономик, международного товарооборота, движения капиталов и рабочей силы, их влияния на важнейшие экономические процессы, в том числе на уровни цен, ставки процента и т.д.

В основе интернационализации хозяйственной жизни лежит углубление международной специализации и интернационализация производства, транснационализация капитала и образование транснациональных корпораций. Интернационализация хозяйственной жизни проявляется как в сферах производства материальных благ, распределения, обмена и потребления, так и в развитии всех форм международных экономических отношений и способствует этому развитию.

Под интернационализацией производства понимается установление непосредственных и устойчивых производственных связей между предприятиями различных стран, вследствие чего производственный процесс в одной стране становится частью процесса, протекающего в международном или мировом масштабе. В АБК этот процесс развивается особенно интенсивно.

Добычей алмазов занимаются свыше 26 стран, в основном в Африке, где добывается в натуральном выражении примерно 54% алмазов, а в стоимостном - около 75% мирового объема. Значительный объем алмазов добывается в Австралии, но качество их низкое, поэтому в стоимостном отношении они не играют большой роли в мировой добыче.

Добыча алмазов в течении второй половины прошлого столетия выросла почти в 6 раз. Лидирующее положение по натуральному объему добычи занимают Австралия, Заир (Конго), Ботсвана, Россия, Канада и ЮАР, а в денежном выражении - Ботсвана, Россия, Ангола, ЮАР и Канада, доля которой за последнее десятилетие выросла и превысила 15%.

Наиболее высокооцененные алмазы добывает Намибия на суше и с морского дна и это обеспечивает, несмотря на незначительное содержание кристаллов на тонну руды, высокую рентабельность алмазодобычи. В Аргайл (Австралия) обратная ситуация – качество алмазов невысокое, вследствие чего цены низкие, но рентабельность производства обеспечивается за счет высокого содержания камней в руде.

В последние годы расширяется алмазный бизнес в Канаде, на Северных Территориях (Лак де Грас), Онтарио и в западной Альберте, а также в Мичигане (США). Аргайл и Боу Ривер являются единственными промышленными месторождениями Австралии.

Ботсвана является наиболее важным производителем алмазов ювелирного качества и дает до 25% от общей стоимости проданных в мире алмазов. Экспорт алмазов составляет до 60% бюджетных доходов. Национальная компания Дебсвана (совместный проект с «Де Бирс») продает продукцию через ЦСО. Качество алмазной продукции трех рудников Орапа, Джваненг и Летлхакане в среднем составляет 85-90 долл. за карат, прочие 90% алмазов – околовелирные и технические. Планируется дальнейшее расширение карьеров рудника Летлхакане - на 40% состоящего из ювелирных алмазов, которые считаются одними из лучших в мире. Между правительством Ботсваны и фирмой «Лазар Каплан Интернешнл» подписано долгосрочное соглашение о развитии огранки алмазов. Действует гравийный завод «Де Бирс».

В Намибии «Консолидейтед даймонд Майнс» (СДМ) полностью принадлежавшая «Де Бирс», стала совместной собственностью. Рудник Элизабет Бей, открытый в 1991г. добывает до 250.000 карат некрупных алмазов ювелирного качества. Основной проблемой для Намибии и Сьерра-Леоне – беднейшей страны Африки, где добычу в основном ведут старатели на россыпях, стала контрабанда алмазов и высокая роль криминала.

Доля Южной Африки в мировой добыче повышалась в 90-х гг. благодаря руднику «Венесения», который был открыт в 1992г. Общий объем производства «Де Бирс» в Южной Африке составлял 8-9 млн. каратов в год.

Большое количество маленьких фирм также активно работает в Южной Африке. Общий объем их добычи составляет не более 200000 карат в год, алмазы продаются главным образом «Де Бирс» и реализуются через ЦСО, включая добычу с морского дна и рудники, перерабатывающие кимберлиты с содержанием 7-10 карат на сто тонн.

В Зaire старательский сектор продолжает производить основное количество алмазов. Зaire является основным производителем технических алмазов. Алмазы являются третьей основной статьей экспорта. Большая часть этих алмазов приходит контрабандой из Анголы.

Китай добывает более 1 млн.карат, из которых 20% имеют качество Gem (месторождение Вафангдиам в провинции Ляонинг, Чант МА Зуан в провинции Шангдин и т.д.). Однако ежегодный спрос в Китае, преимущественно технических алмазов, превышает местную добычу. Алмазы качества Gem страна импортирует в большом количестве.

Венесуэла является источником алмазов хорошего качества: контрабандный экспорт ежегодно составляет 500000 карат.

Корпорация «Де Бирс» остается мировым лидером по технологии подземной добычи руды и обогащения алмазов в тяжелых средах, она ведет алмазодобычу всеми известными способами – открытым, подземным и подводным. Список ее предприятий включает несколько крупнейших в мире рудников: «Венесения», на долю которого приходится почти половина добычи ЮАР; рудники «Жваненг» и «Орапа» в Ботсване; в Намибии – «Намдеб» (прибрежная добыча) и «Де Бирс марин» (подводная добыча), рудники «Финч», «Премьер», который производит большое количество крупных алмазов. Ведутся работы в Танзании и других странах.

Объем добычи рудников, как принадлежащих «Де Бирс», так и находящихся в совместной собственности, в последние годы составил 30-35 млн.карат алмазов. Глубина некоторых подземных рудников ЮАР достигает 1000м., а в Ботсване и ЮАР – 500м. Особое внимание уделяется эффективности работы обогатительных фабрик.

ТНК «Эштон майнинг лимитед» (Австралия) специализируется на поиске, разведке и разработке месторождений алмазов в Австралии, Канаде, Индонезии, Африке, России и Скандинавии с годовым объемом добычи более 300 млн.дол. В Анголе «Эштон майнинг» через компанию «СДМ» имеет 33% участия в проекте разработки аллювиального месторождения Куанго Ривер. Эта компания – один из основных акционеров «Аргайл даймонд сэйлс», в штате Западная Австралия, она ведет добычу на коренном месторождении Мерлин в Северной Территории Австралии. В Канаде компания проводит поисковые и геологоразведочные работы, а также добычу в Квебеке, северных Территориях и провинции Альберта.

В Мавритании при совместных работах с канадской компанией «Диа Мет минералз лтд.» обнаружено несколько кимберлитовых тел с наличием в пробах кристаллов алмазов. В Финляндии и Карелии ведутся буровые работы. В ЮАР на группе кимберлитовых тел Каривли «Эштон Майнинг лимитед» проводит освоение месторождения.

Таким образом, при анализе мирового рынка добычи алмазов можно сделать следующие выводы.

1. Объем мировой добычи алмазов на период до 2010г. в натуральном выражении сократится на уровне 95-100 млн.карат в год (без учета российских производителей).

2. Компания «Де Бирс» останется и в прогнозируемом периоде крупнейшим мировым производителем сырых алмазов с годовым объемом добычи около 40 млн.карат к 2010 г., однако с ней конкурируют «ВНР», «Рио-Тинто», «Эштон Майнинг» в Канаде, Австралии, Индонезии, Анголе и т.д. В результате доля «Де Бирс» в мировой добыче (без России) к 2010 снизится с 60 до 40-50%.

3. Растет число стран-производителей алмазов. Развитие новых месторождений с использованием современных технологий приведет к переходу производства сырых алмазов на более высокий качественный уровень (повышение средней стоимости сырья с 48,0 до 68,0 долл./кар. в 2010г.) за счет освоения качественной сырьевой базы в Канаде, Намибии, Индонезии и ряде других стран.

4. Усилился роль средних по объемам производства компаний, которые работают в Намибии, Анголе, Индии, Китае и т.д.

5. АБК России будет испытывать все более жесткую конкуренцию со стороны стран, где добыча ведется в более благоприятных горногеологических и климатических условиях при низкой оплате труда. В связи с этим особое значение имеют мировые гравийные и торговые центры алмазного бизнеса.

#### 6.2.2.2 Интернационализация российского алмазного рынка

Ситуация, складывающаяся в последнее время на мировом рынке алмазов, предполагает пересмотр основных целей и направлений деятельности предприятий алмазно-бриллиантового комплекса России. Мировой алмазный рынок, характеризовавшийся одноканальной системой и монополией ТНК «Де Бирс», переходит в состояние традиционного рынка с высокой конкурентной способностью его участников. Ускорение процесса интернационализации экономик всех стран мира влечет за собой беспрецедентное расширение международных экономических связей, усиление влияния частного сектора и повышение конкуренции между субъектами всех рынков, в том числе и алмазного. При ускорении процесса международной интеграции сфера международного маркетинга стремительно расширяется.

Главной целью перспективной модели интернационализации АБК РФ является повышение эффективности использования отечественного алмазного сырья и продуктов их переработки.

Одно из приоритетных направлений дальнейшего развития АБК России заключаются в организации собственной мощной инфраструктуры гравийной промышленности при помощи привлечения иностранного капитала. Согласно статистике, в гравийном производстве России наиболее рентабельны совместные предприятия. Данный факт можно объяснить наличием у зарубежных партнёров налаженных каналов сбыта и развитленной клиентской се-

ти. В мировом алмазном бизнесе значительную роль в достижении успеха огранщиков играют личные отношения между производителями и покупателями бриллиантов. Кроме того, огромное негативное влияние на развитие гравийной индустрии в России оказывает отсутствие надежной банковской кредитной системы. В таких условиях государственные предприятия из-за потери оборотных средств не в состоянии своевременно оплачивать покупаемое сырье. В то время как у СП имеются финансовые возможности не только для закупки сырья, но и для дальнейшего развития и технического перевооружения гравийной промышленности на основе новых технологий и оборудования.

В то же время немаловажно учесть национальные интересы России в развитии гравийной промышленности. Государству необходимо создать благоприятные условия для привлечения инвестиций ведущих иностранных огранщиков в российское гравийное производство, тем самым, обеспечив быстрый рост этой отрасли.

Основным результатом работы модели будет превращение России в один из крупнейших мировых центров по добыче, обработке и реализации алмазов и продуктов их переработки.

Предпосылки для реализации данной модели являются признаками возникновения в России алмазного центра мирового уровня:

- Значительные объемы экспортно-импортных операций с алмазным сырьем, полуфабрикатами и продуктами переработки;
- Вторичный рынок алмазного сырья и продуктов его переработки на территории РФ;
- Развитая промышленность по обработке широкого ассортимента алмазного сырья;
- Сбытовая сеть продуктов переработки алмазного сырья

Каким же образом использовать имеющиеся и потенциальные возможности для расширения российского алмазного бизнеса. Прежде всего, стоит обратить внимание на методы достижения эффективной интернационализации:

- Повышение эффективности продаж алмазного сырья, как на внешнем, так и на внутреннем рынках;
- Создание развитой инфраструктуры рынка АБК России;
- Интенсивное развитие промышленности по переработке алмазного сырья;
- Расширение ассортимента обрабатываемого сырья;
- Создание благоприятных условий для привлечения иностранных партнеров в обрабатывающую промышленность;
- Повышение коэффициента валютной эффективности переработки алмазного сырья в бриллианты.

Средствами для достижения положительных результатов служат:

- Совершенствование законодательной и нормативной базы АБК;
- Повышение эффективности государственной поддержки, регулирования и контроля АБК

  - Получение объективной информации о конъюнктуре цен на алмазы на внешнем и внутреннем рынках;
  - Концентрация усилий (в том числе финансовых средств) на приоритетных направлениях;
  - Создание собственных финансовых институтов АБК;
  - Использование нетрадиционных средств финансирования АБК;
  - Создание СП;
  - Создание информационной сети по контролю и анализу деятельности АБК;
  - Координация научно-исследовательских работ.

Степень интернационализации зависит как от внутренних, так и от внешних факторов. К внешним факторам относят: объемы продаж, элементы внешней среды целевых рынков, метод ведения операций на зарубежных рынках. Комплекс внутренних факторов раскрывает возможности данной фирмы, т.е. мотивы интернационализации, организационная структура, финансы, персонал.

В зависимости от степени влияния внешних и внутренних факторов выделяют препятствия интернационализации, а именно - факторы внешней среды международного маркетинга: политические, экономические, культурные, правовые, географические, которые условно можно разделить на следующие группы:

#### Внутренняя среда

1. Общий финансово-экономический кризис – низкая платежеспособность населения вызывает отсутствие внутреннего спроса. Необходима разработка и внедрение специальных инструментов стимулирования спроса населения на продукцию АБК;

2. Ухудшение условий горно-геологических работ – низкий выход годного отражается на общем повышении затрат и снижении доходов. Необходимо увеличение инвестиций в горно-геологическую разведку и эксплуатация рентабельных месторождений. Так, например,

3. Отсутствие спланированной маркетинговой кампании по стимулированию продаж конечной российской продукции АБК (отечественных изделий с бриллиантами) представляет собой потенциальную угрозу падению спроса на бриллианты как товар. Вообще, в мире в среднем рекламу

4. Неблагоприятный инвестиционный климат в РФ – заниженный инвестиционный рейтинг по отраслям АБК вызывает сокращение инвестиций для технологического обновления и совершенствования отрасли в целом. В свою очередь, происходит увеличение сроков цикла воспроизводства отрасли.

5. Культурная среда или национальные особенности ведения бизнеса могут “отпугивать” либо создавать очевидные препятствия для сотрудничества с зарубежными партнерами (инвесторами). Введение стандартных правил торговли алмазами, бриллиантами и другими драгоценными камнями, а также создание цивилизованных условий торговли, активизация участия предприятий в алмазных биржах и ассоциациях решит данную проблему.

6. Недостаточная либерализация рынка драгоценных камней и драгоценных металлов – несовершенство налогообложения и экспорт в АБК, отсутствие государственной поддержки тормозит развитие АБК. Необходимо лоббирование интересов диамантеров, проведение согласованной единой политики в интересах государства и АБК.

7. Финансово-экономическое состояние крупнейших компаний и органов управления и контроля АБК, их взаимоотношения (АЛРОСА, Гохран, Смоленск - Кристалл, правительства субъектов рынка и т. д.).

#### Внешняя среда

1. Усиление конкуренции на мировом алмазном рынке – необходимость повысить внимание к зарубежным конкурентам увеличивает значение рыночной информации для прогнозирования развития рынка и проведения спланированных мероприятий по усилению позиций российского АБК в мире.

2. Политические условия мировых рынков. Участие РФ в определении своей внешней политики в области алмазного рынка и отношений со странами-субъектами мирового рынка алмазов должно основываться на отношении мировой общественности к тому или иному процессу, происходящему на мировом алмазном рынке. Велико влияние международных организаций и политических сил на состояние алмазного бизнеса, что также должно учитываться при формировании стратегии.

3. Общекономическая ситуация в мире. Тесно связанное с ней благосостояние населения – потенциальных потребителей влияет на дальнейшее развитие мирового рынка, общее состояние спроса, на продажи товара и т. д.

4. Состояние других рынков – фондовый рынок, рынок драгоценных металлов (золота, платины, палладия) вызывают колебание цен на продукцию других отраслей, особенно ювелирной отрасли. Состояние фондового рынка связано с диверсификацией деятельностью алмазных компаний.

5. Валютные рынки – курсы национальных валют, особенно доллара США. Мировые цены на алмазы и бриллианты выражены в долларах США. Экспорт продукции напрямую

зависит от курса иностранной валюты, экспортная ориентация алмазной отрасли требует внимательного отношения к валютным рынкам.

6. Культурная среда. Национальные особенности ведения бизнеса в других странах, а также национальные предпочтения потребителей в разных странах напрямую влияют на стратегию поведения отечественных компаний на зарубежных рынках (маркетинг, распределение продукции, ведение деловых переговоров).

Определение направлений интернационализации алмазного бизнеса должно строиться на наличии национальных интересов РФ в области алмазов и бриллиантов, среди которых можно выделить:

1. Формирование цивилизованного внутрироссийского рынка алмазного сырья и бриллиантов, основанного на реальных мировых ценах

2. Постоянное совершенствование технологических мощностей алмазной промышленности и увеличение числа рабочих мест в АБК

3. Обеспечение роста поступлений иностранной валюты от экспорта алмазов, совершенствование структуры экспорта, увеличение добавочной стоимости и показателей экономической эффективности

4. Получение экономически выгодных доходов от продажи алмазов внутри страны и за границей

5. Активное вхождение и присутствие на международном рынке

Сегодня АБК России ещё пока довольно слаб для самостоятельного выхода на мировую арену, но именно сейчас, в свете кардинальных изменений в алмазном бизнесе, России необходимы иностранные инвестиции ведущих огранщиков Бельгии, Израиля и Индии для того, чтобы в кратчайшие сроки создать мощную обрабатывающую индустрию в стране. Но в будущем Россия во многом предстоит проявить самостоятельность, так как контроль над такими стратегически важными отраслями как алмазодобыча и переработка требует строгого выполнения политики национальных интересов. И только в этом случае Россия сможет стать алмазным центром мирового уровня по добыче, переработке и производству ювелирных изделий.

### 6.3. Развитие алмазно-бриллиантового комплекса России

#### 6.3.1. Состояние минерально-сырьевой базы и природных алмазов в России

Алмазно-бриллиантовый комплекс (АБК) России является важной составной частью национальной экономики. Его экспортный потенциал превышает 2,5 млрд. дол. США, Россия является полноправным членом мирового алмазно-бриллиантового комплекса: по запасам алмазов в недрах она занимает первое место в мире, по добыче – второе после Ботсваны. (Рис.6.1).

По объему прогнозных ресурсов алмазов Россия занимает первое место в мире – 35-50%. Однако ресурсы категорий  $P_1$  и  $P_2$ , служащие ближайшим резервом для прироста запасов, не превышают 16% суммарных мировых запасов.

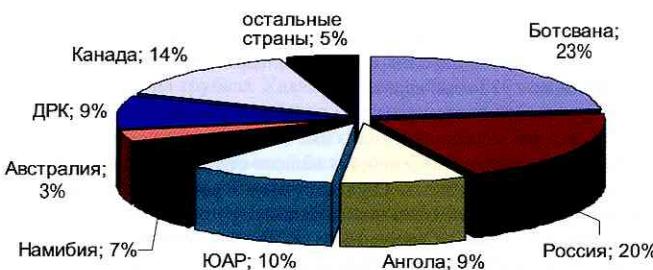


Рис. 6.1. Примерная структура мировой добычи алмазов

Основная часть прогнозных ресурсов страны (около 65%) приходится на приполярные районы Западной Якутии с неразвитой инфраструктурой; из них на районы действующих алмазодобывающих предприятий приходится не более 10%. Около 20% ресурсов располагается в Архангельской области и только 10% - в промышленно развитых районах европейской части России (Рис.6.2).

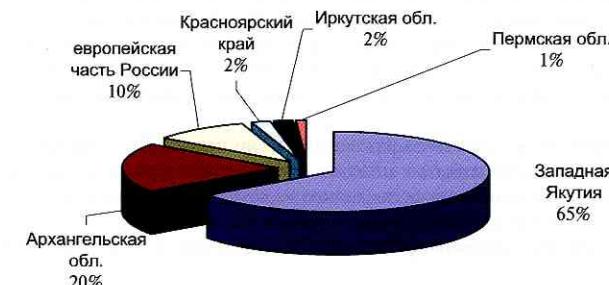


Рис. 6.2. Региональная структура прогнозных ресурсов алмазов России РФ

Качество алмазов в эксплуатирующихся трубках России в среднем сопоставимо с качеством камней в главных месторождениях мира, но среднее содержание алмазов в них выше. Государственным балансом учтено 49 месторождений алмазов, 16 из них – с забалансовыми запасами. Запасы алмазов, которые могут быть вовлечены в эксплуатацию без крупных капиталовложений (участки для открытой обработки, новые месторождения вблизи действующих ГОКов, россыпи), составляют около 30%, что существенно ниже, чем в странах Африки.

Наиболее крупными месторождениями алмазов в России являются трубки Удачная (22,9% российских запасов), Юбилейная (20,3%), Нюрбинская и Ботуобинская (10,6%), в глубоких горизонтах трубок «Мир» и «Интернациональная» заключено соответственно 9,9% и 5,4%, в трубке Зарница – 3,9% запасов. Содержание и качество алмазов выше всего в трубках «Интернациональная» и «Мир», далее следуют трубки Накынского поля, Удачная и Юбилейная, где низкое содержание и качество алмазов компенсируется их значительными запасами.

Основной недропользователь в сфере добычи алмазов – АК «АЛРОСА» – является владельцем прав на разработку всех коренных и большей части россыпных месторождений ал-

мазов в Республики Саха (Якутия). Правами на эксплуатацию россыпей в Анабарском и Приленском районах владеют две небольшие фирмы - «ОАО Нижнее-Ленское» и «ООО Алмазы Анабара».

По состоянию на 01.01.2006г. балансовые запасы алмазного сырья категорий А, В составили 51,19 млн. карат, в том числе коренных – 38 млн. карат; категорий С1 и С2 – 990 млн. карат, в том числе коренных – 932 млн. карат.

Вторым по размеру запасов алмазоносным районом России является Архангельская область, где расположены два месторождения – им. М.В.Ломоносова и им. Гриба, на долю которых приходится, соответственно, 16,8 и 4,4% запасов страны. Содержание алмазов в них ниже, чем в месторождениях Республики Саха (Якутия), а качество алмазов соответствует среднему качеству якутских или несколько ниже. Правами на разработку месторождения им. М.В.Ломоносова владеет СП ОАО «Севералмаз», в котором компания «АЛРОСА» имеет более 90% акций. Лицензией на месторождение им. Гриба владеет компания «Архангельскгэодобыча».

Лицензия на разработку всех промышленных россыпей в Пермской области принадлежит НПП «Прииск Уралалмаз».

Доля распределенного фонда месторождений алмазов, учитываемых Государственным балансом РФ, – одна из самых высоких в добывающей промышленности.

Обеспеченность действующих рудников разведанными запасами в целом по стране при современном уровне добычи составляет 34 года, но запасов для открытой обработки на действующих предприятиях значительно меньше: на руднике Удачный их хватит на 7 лет, на втором крупнейшем руднике – Мир добыча остановлена. На длительную перспективу обеспечены запасами для открытой отработки трубы «Юбилейная» только Айхальский ГОК. Обеспеченность запасами эксплуатируемых россыпей составляет 16 лет.

Прирост запасов за последнее десятилетие не компенсировал добычу, из-за чего балансовые запасы алмазов России сократились в 1991-2001 гг. почти на 18%, и только разведка и утверждение запасов трубок Накынского поля позволили с 2002г. уменьшить это падение до 7,8%.

По объему добычи (в весовом выражении) Россия продолжает занимать первое место в мире, (по общей стоимости добытых алмазов – второе место после Ботсваны), однако доля России в мировой добыче алмазов за последнее десятилетие сократилась с 25% до примерно 20%. Тем не менее стоимость добываемых алмазов, по данным «АЛРОСА», в течение всего последнего десятилетия устойчиво росла – с 1,15 млрд.дол. в 1993г. до 3, 002 млрд. дол. в 2006г.

Среднее качество извлекаемых руд постепенно снижается, ухудшаются экономические показатели эксплуатации, что связано с увеличением глубины отработки и дальности транспортировки руды, усложнением условий ее извлечения.

Почти всю добычу алмазов в России осуществляет АК «АЛРОСА», которой принадлежит вся промышленная и социальная инфраструктура районов алмазодобычи. Стремясь стать вертикально-интегрированной инфраструктурой, компания развивает, помимо добычи, собственное гравийное производство и розничную торговлю бриллиантами и ювелирными изделиями с ними, однако объем производства бриллиантов АК «АЛРОСА» пока не превышает 200 млн. дол. в год.

Подавляющая часть экспорта сырья алмазов осуществляется через компанию «Де Бирс» (не менее 580 млн. дол. в год), т.е. от половины до двух третей добываемых алмазов общей стоимостью не менее 1 млрд. дол. Остальные алмазы «АЛРОСА» продают российским гравийным предприятиям, главным из которых является завод «Кристалл» в г. Смоленске, а также гравийным предприятиям стран СНГ (Армения, Белоруссия) в рамках межправительственных соглашений. Начал создаваться внутренний рынок сырья алмазов, однако операции на недавно созданной Алмазной бирже пока не превышают нескольких миллионов долларов в год.

Импорт в Россию сырья алмазов невелик: он осуществляется гравийными предприятиями, которые не могут получить сырье необходимого им качества в рамках поставок АК «АЛРОСА».

Согласно «Концепции развития алмазно-бриллиантового комплекса (АБК) России», разработанной компанией «АЛРОСА», при реконструкции действующих добывающих и обогатительных предприятий на трубках Удачная, Мир, Айхал и создании промышленной инфраструктуры в новых алмазоносных районах, возможен рост добычи алмазов в полтора раза. Необходимые для этого инвестиции составят 2,5 млрд. дол.

#### **В развитии минерально-сырьевой базы АБК России существует ряд проблем.**

Во-первых, себестоимость добываемых алмазов высока, в первую очередь из-за того, что практически все месторождения расположены в необжитых приполярных районах с крайне суровым климатом. Горногеологические условия их обработки – самые сложные в мире. Кроме того, необходимо поддерживать дорогую инфраструктуру, в то время как за рубежом даже крупные месторождения алмазов отрабатываются гораздо более дешевым вахтовым способом.

Во-вторых, значительная часть оставшихся разведанных запасов (до 45%) находится на глубоких горизонтах давно эксплуатирующихся трубок «Удачная», «Мир», «Интернациональная», «Айхал». Увеличение глубины отработки месторождений и переход на подземный способ эксплуатации приведет к снижению производительности рудников и повышению себестоимости алмазов. Часть запасов не только для подземной, но и для открытой добычи при современной конъюнктуре не пригодна для безубыточной отработки.

В-третьих, вновь вводимые в эксплуатацию коренные месторождения алмазов не смогут в полной мере компенсировать убывающие объемы добычи алмазов на трубках «Удачная» и «Мир», поскольку имеют худшие качественные параметры, поэтому необходим поиск месторождений с высоким качеством сырья, пригодных для открытой эксплуатации в сложившемся центре алмазодобычи – Республика Саха (Якутия) и других регионах (Красноярский край, Иркутская, Архангельская обл. и др.) При этом условия проведения поисков существенно меняются. Прежде они велись преимущественно на территориях, где кимберлитовые тела залегали на поверхности, ныне поиски смещаются в районы, где кимберлитовые трубы перекрыты мощными толщами осадков. Необходимы опережающие научно-методические исследования, для разработки высокоеффективных способов проведения геологоразведочных работ.

В АБК РФ занято немногим более 40 тысяч рабочих, тогда как в Индии только гравийников около 1 млн. человек. Резерв потенциальных рабочих мест очевиден.

В 90-х гг. в России было зарегистрировано более 200 государственных и частных гравийных предприятий, но современная финансово-экономический ситуация в отрасли привела к закрытию большинства фабрик. Оставшиеся действуют на критической отметке рентабельности, и лишь единицы работают стабильно и прибыльно.

#### **6.3.2 Основные взаимосвязанные подсистемы алмазно-бриллиантового комплекса России**

Алмазно-бриллиантовый комплекс (АБК) Российской Федерации состоит из предприятий трех взаимосвязанных подсистем.

**Первая подсистема** – алмазодобывающая, представлена ЗАО "АЛРОСА", ОАО "Севералмаз", ОАО «Нижне-ленское», ОАО «Алмазы Анабара», ТОО "Уралалмаз" и ряд небольших частных предприятий, получивших лицензии на геологическую разведку и добычу алмазов в некоторых регионах Европейского Севера России (Архангельская и Мурманская области, Республика Карелия и др.).

**Вторая подсистема** – алмазообрабатывающая, включает предприятия по производству бриллиантов и алмазных инструментов. Их число постоянно изменяется: практически ежемесячно появляются новые и по разным причинам прекращают деятельность старые. Сейчас

их несколько десятков, подавляющее большинство — частные предприятия с участием иностранного капитала, в основном израильского и бельгийского.

**Третья подсистема** — торговая, имеющая две специализированные структуры. Среди предприятий АБК особое место принадлежит ГУП «Алмазовелирэкспорт». В 1998г. образована Алмазная палата России, главное назначение которой организация вторичного рынка необработанных алмазов в форме биржевой торговли.

Таким образом, алмазно-бриллиантовый комплекс включает в себя хозяйствующие субъекты алмазодобывающей, гравийной и ювелирной промышленности, оптовой экспортной торговли, а также предприятия по производству и использованию технических природных и синтетических алмазов. Целесообразно создать в составе АБК сеть специализированных магазинов розничной торговли. Ликвидация диспропорций в развитии отраслей российского АБК — главное условие повышения его конкурентоспособности на мировом рынке.

Минерально-сырьевой комплекс АБК также как и минерально-сырьевой комплекс России в целом, несмотря на его огромный потенциал оказался в критическом состоянии из-за отсутствия долгосрочной государственной стратегии использования и изучения недр, воспроизведения минерально-сырьевой базы. Значительное сокращение в последнее десятилетие объемов геологоразведочных работ привело к тому, что сырьевая база по многим полезным ископаемым существенно сократилась.

Отмена с 2002г. действовавших ставок на воспроизведение минерально-сырьевой базы в условиях крайне ограниченных бюджетных средств, лишила минерально-сырьевой комплекс важнейшего и достаточно надежного источника финансовых ресурсов для выполнения геологоразведочных работ, что поставило на грань выживания НИИ и производственные геологические организации Минприроды России.

Потребление технических алмазов в России за период 1991-1998гг. снизилось почти в 6 раз. Это вызвано спадом производства в тех отраслях промышленности, которые традиционно потребляли технические алмазы (машиностроение, электроника, медицинская промышленность, стройиндустрия и др.).

После распада СССР практически все мощности по производству синтетических алмазов оказались вне России (Украина, Беларусь). Поэтому, несмотря на резкий спад потребления технических алмазов, производство их синтетических разновидностей увеличилось в России в 90-х гг. до 42,9 млн. каратов. В связи с тем, что применявшаяся в СССР (а теперь и в России) технология производства синтетических алмазов позволяет получать алмазные порошки только низкой и средней прочности, высокопрочные синтетические алмазы Россия вынуждена импортировать из стран дальнего зарубежья.

При восстановлении спроса на технические алмазы Россия способна собственными силами покрыть потребность в их природных технических и среднепрочных синтетических видах.

Гравийная промышленность Российской Федерации была создана в 60-х гг., когда была создана сеть из семи гравийных заводов "Кристалл", из них три - в РСФСР (Смоленск, Москва, Барнаул), два - на Украине (Киев, Винница), один - в Белоруссии (Гомель) и один - в Армении (под Ереваном). Огранку алмазов производил также Кусинский завод точных технических камней.

Сырьевая основа гравийной отрасли не зависела от мирового рынка алмазного сырья (отрасль не испытывала влияние ТНК "Де Бирс") и развивалась в иных условиях, нежели остальные мировые гравийные центры. Особо крупные алмазы (более 10 каратов) государство накапливало в запасах, экспорттировались в основном средние и мелкие ювелирные и околоювелирные (индийского качества) алмазы, а также относительно небольшое количество крупных ювелирных алмазов в основном для поддержания средних цен экспорта. Российские ограночные предприятия специализировались на обработке достаточно крупных и качественных ювелирных алмазов, соответствовавших в основном ассортименту бельгийской и, с некоторыми оговорками, израильской ограночных отраслей.

Советские ограночные предприятия получали плановые объемы сырья, обрабатывали его в соответствии с отраслевыми нормами и в плановом порядке сдавали готовую продукцию другим государственным предприятиям: ювелирным заводам и внешнеторговому объединению В/О «Алмазовелирэкспорт». Таким образом, сами заводы-изготовители бриллиантов своей продукцией не торговали и, не владели коньюнктурой мирового рынка. Ограночная индустрия была соизмерима по объему производства с американской, израильской и бельгийской.

Бриллианты российской огранки — "Russian cut" характеризовались высоким качеством используемого сырья и стандартизированным видом огранки. В отличие от зарубежных гравийных центров, где преобладают мелкие частные предприятия, советская алмазообрабатывающая промышленность развивалась по пути крупного индустриального производства, основанного на государственной собственности.

В 1990г. в бывшем СССР работало 9 крупных государственных ограночных предприятий. 97% ограненных алмазов вывозились из страны. Остававшиеся в стране качественные бриллианты (3%) дали толчок развитию отечественной ювелирной промышленности.

В 1965г. ювелирные предприятия были переданы в подчинение Министерству приборостроения СССР. Было построено 19 новых и реконструировано 10 ювелирных заводов. К началу 80-х гг. производство ювелирных изделий увеличилось более чем в 10 раз. Они продавались через единую сбытовую сеть "Ювелирторг", которая насчитывала 300 ювелирных магазинов и 350 специализированных секций универмагов. К 1991г. объем торговли достиг 720 млн. долл. США. Ювелирная промышленность переработала 32,0 тонны золота (999 пробы).

Государственный фонд страны по директивно установленным ценам, не учитывавшим цены мирового рынка, осуществлял хранение, сортировку, оценку и реализацию алмазов отечественным гравийным предприятиям, а также контроль за использованием алмазов.

Экспортом алмазов занималось специализированное предприятие "Алмазовелирэкспорт". В 1988г. в целях централизованного государственного контроля над всеми аспектами деятельности АБК было создано Главное управление драгоценных металлов и алмазов при Совете Министров СССР (Главалмаззолото СССР). Основными задачами этого органа, как среднего звена управления, было управление добычей золота и алмазов, а также гравийной и ювелирной промышленностью и оптовой торговлей алмазами, бриллиантами и ювелирными изделиями как внутри страны, так и за рубежом. Таким образом, произошло соединение всех отраслей алмазно-бриллиантового комплекса, а также золотодобычи и ювелирной промышленности под эгидой одного государственного органа, включая внешнюю торговлю (ГУП «В/О Алмазовелирэкспорт» также вошло в состав Главалмаззолота СССР).

С 1992г. в результате ликвидации Главалмаззолота СССР российская алмазно-бриллиантовая, золотодобывающая и ювелирная промышленность остались без эффективной единой координирующей организации, управление мезоструктурой было разрушено. Кризис 90-х гг. усугубил кризис АБК и его дезориентацию. В последние годы началось восстановление АБК как интегрированного мезоэкономического комплекса.

В условиях глобализации структура экономики становится более сложной, многозвенной. Главным субъектом становятся мезоэкономические структуры — межотраслевые хозяйствственные объединения, осуществляющие стратегическое управление технологическими цепями — от добычи сырья и разработки новой продукции до ее производства и оптовой или розничной (для индивидуальных продуктов особой сложности и высокой стоимости) продажи. Главная особенность этих структур — трансформация отношений между их участниками на организационно-плановой, а не стихийно-рыночной основе.

## Список литературы

### Глава 1

- Барде М.Г. Месторождения алмазов в Африке. Всесоюзный центр переводов. Перевод №Ц-64687. – М., 1976. – 711с.
- Божинский А.П., Гневушев М.А., Каллистов П.Л. и др. Методы разведки и подсчета запасов россыпных месторождений полезных ископаемых. – м.:Недра, 1965. – 312с.
- Быховский Л.З. и др. Геологические критерии поисков россыпей. – М.: Недра, 1981.
- Воскресенский С.С. Геоморфология россыпей. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 204 с.
- Варийчук М.И., Натоцинский В.И. Оптимизация параметров открытой разработки россыпей. – М.: Недра, 1985. – 197 с.
- Геология и генезис алмазных месторождений: в 2-х книгах. – М.,Ю 1989. Кн. 1 – 242 с.; Кн. 2 – 424 с. / под ред. Б.М.Зубарева.
- Барде М.Г. Месторождения алмазов Африки. – Париж, 1974.
- Геология россыпей / Под редакцией Смирнова В.И. – М.: Наука, 1965.
- Дьяков А.Г., Бартошинский З.В. Транспортировка и характер износа алмазов аллювиальных россыпей Якутии // Труды ЯФ СО АН СССР, 1961, сб. 6. – С.123-135.
- Геология россыпей Якутии/ Под редакцией Рожкова И.С. – М.: Недра, 1964.
- Емельянов В.Н. Технология бульдозерной разработки вечномерзлых россыпей. –М.: Недра, 1976. – 287 с.
- Заборин О.В. (ГКЗ МПР РФ). Геолого-экономическая оценка месторождений твердых полезных ископаемых в современных условиях // Минеральные ресурсы России, 1998 -№1.
- Заборин О.В. (ГКЗ МПР РФ). О геолого-экономической оценке месторождений твердых полезных ископаемых в новых условиях недропользования // Минеральные ресурсы России, 1994 - №1.
- Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и Мира. // Геоинформмарк. – М., 2000
- Рекомендации по содержанию, оформлению и порядку предоставления на Государственную экспертизу материалов подсчета запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых. – М.: ГКЗ РФ, 1998. – 36с.
- Инструкция по изучению инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке, 1975.
- Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Научные основы поисков и разведки. – М.: Недра, 1984. – 285с.
- Каллистов П.Л. Асимметрия распределения некоторых свойств золота и связанные с нею погрешности определения запасов // Сборник матер, по геологии золота и платины. – Вып.9. – М.: ОБТИ Главспеццветмета, 1948. – с.58-79.
- Каллистов П.Л. Изменчивость оруднения и плотность наблюдений при разведке и опробовании // Сов. Геология. – 1956. – С. 118-151.
- Каллистов П.Л., Камышев Ю.М. О проблеме выравнивания показаний проб при подсчете запасов месторождений с высокой степенью изменчивости оруднения // Руды и металлы. – 1995. - №4. – с. 84-95.
- Каринская В.Н., Крендлев В.П., Макаров Б.П. и др. Технические средства для бурения скважин большого диаметра в рыхлых отложениях. – М.: ВИЭМС, 1983. – 60 с.
- Коган И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Недра, 1974. – 303с.
- Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. – М.: ГКЗ, 1997. – 16с.
- Крейтер В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: в 2-х книгах. – М., 1961. – Кн.1 – 327 с., Кн.2 – 369 с.
- Крендлев В.П., Махотин В.В., Минаков В.М., Орьев В.А. Техника и технология ударно-канатного бурения при разведке россыпей. – М.: Недра, 1979. – 222 с.
- Мальцев В.А. Практическое руководство по применению геостатистических методов оценки в геологии (на базе программной системы GST). – М.: ВИМС. МГП «Геоинформмарк», 1991. – 109 с.
- Марусин В.И. Морфологические методы при локальном прогнозировании россыпей // Разведка и охрана недр. – 1994. - №4. – С. 34-35.
- Методическое руководство по комплексному исследованию типоморфных свойств алмазов при локальном прогнозировании и поисках коренных месторождений // Труды ЦНИГРИ. – М.: 1988.
- Геология и генезис алмазных месторождений / Б.М.Владимиров, Ю.М.Дауев, Б.М.Зубарев и др. – М.: ЦНИГРИ, 1989.
- Методы отбора и отработки проб при поисках месторождений алмазов (Маланын М.И., Крупенина А.П., Прокопчук Б.И. и др. / Под редакцией Б.М.Зубарева). М.: Недра, 1984. – 183с.
- Минорин В.Е., Подчасов В.М., Баландин А.В. Методические рекомендации по поискам и разведке кайнозойских аллювиальных россыпей алмазов Якутии. – М.: ЦНИГРИ, 1988 – 60 с.
- Минорин В.Е., Патык-Кара Н.Г. Рассыпные месторождения алмазов // Рассыпные месторождения России и других стран СНГ. М.: Науч.мир, 1977, - С.352-380.
- Минорин В.Е. Прогнозно-поисковые модели алмазоносных россыпей России / Под ред. А.И.Кривцова. – М.: ЦНИГРИ, 2001. – 117с.
- Нестеренко Г.В. Происхождение россыпных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1977. – 312 с.
- Орлов Ю.Л. Минералогия алмазов. - М.: Наука, 1984. – 264 с.
- Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов (авт. Ваганов В.И., Голубев Ю.К., Минорин В.Е.) Методическое руководство. Выпуск «Алмазы». – М.: ЦНИГРИ, 2002. - 76 с.
- Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). – М.: ВИЭМС, 1999. – 28 с.
- Прокопчук Б.И. Алмазные россыпи и методика их прогнозирования и поисков. – М.: Недра, 1979. – 248 с.
- Джейкс А., Луис Дж., Смит К. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии. – М.: Мир, 1989.
- Прокопчук Б.И. Левин В.И., Метелкина М.П. и др. Древний рудоносный карст. – М.: Недра, 1988. – 222 с.
- Рейнек Г.Э., Сингх И.Б. Обстановки терригенного осадконакопления. – М.: Недра, 1981. – 439 с.
- Рожков И.С., Буров А.П., Прокопчук Б.И. Геологические основы и методика поисков и разведки месторождений алмазов. – М.: Недра, 1970. – 391 с.
- Рекомендации по содержанию, оформлению и порядку представления на Государственную экспертизу материалов подсчета запасов металлических и неметаллических полезных ископаемых. – М.: ГКЗ РФ, 1998. – 36 с.
- Салтыков О.Г., Эринчек Ю.М., Устинов В.П., Мильштейн Е.Д. Позднепалеозойские терригенные коллекторы алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы. СПб.: ВСЕГЕИ, 1991. – 222с.
- Словарь по геологии россыпей (Арманд Н.Н., Белоусов В.Д., Быховский Л.З. и др.). – М.: Недра, 1985. – 197 с.
- Справочник по литологии (Логовиненко Н.В., Фролов В.Т. и др., под редакцией Васкоевича Н.Б.). – М.: Недра, - 1983. – 509 с.
- Технологическая оценка минерального сырья. Опробование месторождений. Характеристика сырья: Справочник. – М.: Недра, 1992. – 272 с.
- Трофимов В.С. Основные закономерности размещения и образования алмазных месторождений. – М.: Недра, 1967. – 334 с.

49. Зинчук Н.Н., Харьков А.Д., Мельник Ю.М., Мовчан Н.П. Вторичные минералы кимберлитов. – Киев: Наукова думка, 1987. – 282 с.
50. Трофимов В.С. Геология месторождений природных алмазов. – М.: Недра, 1980. – 334 с.
51. Условия древнего осадконакопления и их распознавание. – М.: Мир, 1974. – 327 с.
52. Учитель М.И. Разведка россыпей. Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1987. – 248 с.
53. Философов В.П. Краткое руководство по морфологическому методу поисков тектонических структур. – Саратов, 1960. – 94 с.
54. Францессон Е.В., Каминский Ф.В., Прокопчук Б.И. и др. Принципы и методика составления прогнозных карт на алмазы. – М.: ЦНИГРИ, 1977. – 209 с.
55. Харьков А.Д. и др. Геолого-генетические основы шлихоминералогического метода поисков алмазных месторождений. – М.: Недра, 1995.
56. Шило Н.А. (отв. ред. акад. В.П. Смирнов). Основы учения о россыпях. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Наука, 1985. – 400 с.
57. ЭИ ВИЭМС. Геология, методы поисков и разведки месторождений неметаллических полезных ископаемых. Зарубежный опыт. – 1988. Вып. 4. – С. 1-15.
58. Applin K.E.S. Sampling of alluvial diamond deposits in West Africa, hist. of Mining and Met., 1972, v. 81. Section A.
59. Sutherland D.G. The transport and sorting of diamond by fluvial and marine process. Econom. Geology. 1982, v. 77, № 7. – P. 1613-1620.
60. Sutherland D.G., Dale M.L. Method of establishing the minimum sample size for sampling alluvial diamond deposits. Inst. of Mining and Met., 1984, B. 93, May. – P. 55-58.
61. Oostdam W.L. Exploration for marine placer deposits of diamond. Min. and Ground-water Geophys. Ottawa. – P. 447-461.
62. Масайтис В.Л., Машак М.С. Селивановская Т.В. Шафрановский Г.И. Алмазоносные импактиты Попигайской астроблемы. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1998. – 179 с.
63. Милашев В.А. Петрологическое соотношение алмазоносных лампроитов и кимберлитов // Геология и геофизика. – 1988. - №10. – С. 36-44.
64. Митюхин С.И. Применение электроразведки неустановившимися электромагнитными полями в условиях проводящей и поляризующей среды Мало-Ботуобинского алмазоносного района: Афореф.... канд.г.-м.н. – Иркутск, 1985.
65. Сладкевич В.В. Параметры графита по алмазу // Зап. МВО. – 1982. – Ч. 61, вып. 1. – С. 13-33.
66. Соболев Н.В., Похilenko Н.П., Харьков А.Д. Кимберлиты, лампроиты и проблема состава верхней мантии // Геология и геофизика. – 1986. – №3. – С. 18-27.
67. Харьков А.Д. Вещественно-индикаторные модели кимберлитов и особенности поисков // Методы прогноза и поисков алмазов на юге Вост. Сибири. – Иркутск, 1990.
68. Харьков А.Д., Кvasница В.И., Сафонов А.Ф., Зинчук Н.Н. Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов. – Киев: Наукова думка, 1989.
69. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. – М.: Недра, 1998.
70. Dredge L.A., Ward B.C., Kelt D.E. Morphology kelyphite preservation on glacially transported pyrope grains. Kimberlite indicator mineral tracing in Canada; principles and methods. A short course presented at Queen's University, May 24, Ottawa, Ontario, 1998. P. 197-203.
71. Jaques A., Lewis J., Steth C. The Kimberlites and Lumps of Western Australia. – Perth, 1986.
72. Принципы и методика составления прогнозных карт на алмазы / сост. Францессон Е.В., Каминский Ф.В., Прокопчук Б.И. и др.) – М., 1977.

## Глава 2

1. Бартошинский З.В., Биленко Ю.М., Жихарева В.П., Коптиль В.И. – О двойниках, сростках и поликристаллических образованиях природного алмаза. Минералог. сб. Львовского ун-та, 1980, №34, в. 2, стр. 23-31.

2. Бокий, Г.Б., Безруков Г.Н., Клюев Ю.А. и др. – Природные и синтетические алмазы. М., Наука, 1986, 221 с.
3. Борзенко С.Ю., Зезин Р.Б., Кулаков В.М. – Природный алмаз для детекторов ионизирующих излучений. В сб. «Благородные металлы и алмазы в новых областях техники», Гиналмазолото, М., 1991, стр. 57-65.
4. Буланова Г.П., Варшавский А.В., Лескова Н.В., Никишова Л.В. – Центральные включения – индикатор условий зарождения природных алмазов. Физические свойства и минералогия природного алмаза. Якутск, ЯФ СО РАН СССР, 1986, стр. 29-45.
5. Вавилов В.С., Гиппиус А.А., Конорова Е.А. – Электронные и оптические процессы в алмазе. М., Наука, 1985, 120 с.
6. Вавилов В.С. – Алмаз – широкозонный полупроводник. В сб. «Алмаз в электронной технике», Энергоатомиздат, М., 1990, с. 14-21ю
7. Варшавский А.В. – Аномальное двупреломление и внутренняя морфология алмаза. М., Наука, 1968.
8. Виноградов А.П., Кропотова О.И., Орлов Ю.Л., Гриненко В.А. – Изотопный состав кристаллов алмаза и карбонадо. Геохимия, № 12, 1966.
9. Вольгин М.Е. – Фуллерены – новая форма углерода. Вестник РАН, 1992, № 10, стр. 25-31.
10. Галимов Э.М. – Вариации изотопного состава алмазов и связь их с условиями алмазообразования. Геохимия, 1984, № 8, стр. 1091-1117.
11. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Марфунин А.С., Михайличенко О.А. – Включения в алмазе и алмазоносные породы. М., изд. МГУ, 1986.
12. Горина И.Ф. – Стадии механического износа алмазов аллювиальных россыпей. В кн.: Россинная алмазоносность Средней Сибири. Л., изд. НИИГА, стр. 29-31.
13. Горшков А.И., Титков С.В., Сивцов А.В., Бершов Л.В., Марфунин А.С. – Первые находки самородных металлов Cr, Ni и Fe в карбонадо из алмазных месторождений Якутии. Геохимия, 1995, №4, стр. 588-591.
14. Горшков А.В., Винокуров С.Ф., Соловьев Д.И., Бершов Л.В., Махов А.В., Соловьева Ю.П. Сивцов А.В. – Поликристаллический алмаз из трубы Удачная (Якутия): минералогические и генетические особенности. Литология и полезные ископаемые, 1998, №6, стр. 588-603.
15. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия. Университ. Книжный дом. М., 2005, 587 с.
16. Зайцева Т.М., Гуркина Г.А. – Природа серо-дымчатой и коричневой окраски кристаллов алмазов. Минер. журнал, 1986, т. 8, №3, стр. 48-55.
17. Зайцева Т.М., Константинова А.Ф. – Анизотропия оптических свойств природных алмазов. Минер. журнал, 1989, т. 11, стр. 141-154.
18. Зедгенизов Д.А., Логвинова А.М., Шацкий В.С., Соболев Н.В. Включения в микроалмазах из некоторых кимберлитовых трубок. ДАН (Россия), 1998, т. 359, №1, с. 74-78.
19. Зинчук Н.Н., Коптиль В.И. – Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М., Недра, 2003, 603 с.
20. Под ред. Кваскова В.Б. и др. – Природные алмазы России. М., Полярон, 1997, 303 с.
21. Квасков В.Б., Плотникова С.П., Седова Е.А. и др. – Фотопроводимость и электронная эмиссия в кристаллах природного алмаза. В сб. «Благородные металлы и алмазы в новых областях техники», Гиналмазолото, М., 1991, стр. 40-49.
22. Квасков В.Б. – Оптоэлектронные свойства природного алмаза и перспективы применения. В сб. «Алмаз в электронной технике», Энергоатомиздат, М., 1990, стр. 92-109.
23. Кваскова В.Н., Харьков А.Д., Зинчук Н.Н. – Природа алмаза. Киев, Наукова Думка, 1994.
24. Клюев Ю.А., Непша В.И., Дуденков Ю.А. и др. Спектры поглощения алмазов разных типов. Докл. АН СССР, 1972, 203, №5, стр. 1054-1057.

25. Клюев Ю.А., Непша В.И., Дуденков Ю.А. – О физической классификации алмазов. В кн.: Физико-химические свойства алмазов. М., НИИМАШ, 1974, 3 №. Стр. 3-15.
26. Козлов С.Ф., Конорова Е.А., Крапивин М.И. и др. – Применение алмазных детекторов в качестве погружных α-счетчиков. Атомная энергия. 1976. Том 40. Вып. 6. Стр. 482-483.
27. Козлов С.Ф. – Алмазные детекторы ядерных излучений. «Алмаз в электронной технике», Энергоатомиздат, М., 1990, стр. 34-56.
28. Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. – ювелирные камни. М., Недра, 1983, 239 с., 2 изд. 1986, 282 с.
29. Курдюмов А.В., Малоголовец В.Г. и др. Полиморфные модификации углерода и нитрида бора. Справочник. М., Металлургия, 1994, 318 с.
30. Кухаренко А.А. – Алмазы Урала. М., Госгеолтехиздат, 1955.
31. Леонов Б.П., Прокопчук Б.И., Орлов Ю.Л. – Алмазы Приленской области. М., Наука, 1966.
32. Мартовицкий В.П., Солодова Ю.П. – Анатомия и морфология двойников прорастания природного алмаза. Минер. журнал, ФН УССР, Киев, 1985, т. 7, №5, стр. 40-50.
33. Масайтис В.Л., Футергендлер С.И., Гневущев М.А. – Алмазы в импактиках Попигайского кратера – Зап. ВМО, 1972, ч.101, вып. 1 стр. 108-112.
34. Метелькина М.П., Прокопчук Б.И., Суходольская О.В., Францессон Е.В. – Докембрийские алмазоносные провинции мира. М., Недра, 1976.
35. Минеева Р.М., Сперанский А.В., Титков С.В., Бершов Л.В. – Новый парамагнитный центр на ионах никеля в алмазе. Докл. АН СССР, 1994, т.334. №6, стр. 755-758.
36. Мокиевский В.А., Титова В.М., Бартошинский З.В. – Проявление пластической деформации в алмазе и некоторые вопросы, связанные с пластичностью кристаллов. Зап. ВМО, 1962, ч.91, вып. 4, стр. 381-393.
37. Непша В.И., Клюев Ю.А. Алмазные теплоотводы в электронных приборах. В сб. «Алмаз в электронной технике», Энергоатомиздат, М., 1990, стр. 140-155.
38. Орлов Ю.Л. – Минералогия алмаза. М., Наука, 1973, 224 с.; 2 изд. 1984.
39. Орлов Ю.Л. – Полигенез и типоморфизм алмаза в кимберлитовых месторождениях. Изв. АН СССР, сер. геол., 1977, №11, стр. 64-73.
40. Орлов Ю.Л., Дуденков Ю.А., Солодова Ю.П. – Волокнистый рост, ИК-спектры и включения карбонатов в кубических кристаллах. Новые данные о минералах СССР, 1978, вып. 27, стр. 109-112.
41. Орлов Ю.Л., Солодова Ю.П., Кравцов А.И., Кропотова О.И., Бобров В.А., Суходольская О.В. – Отличие изотопного состава углерода в углерода в разновидностях кристаллов алмаза. – Новые данные о минералах СССР, изд-во «Наука», М., 1979, вып. 28, стр. 99-105.
42. Орлов Ю.Л., Каминский Ф.В. «Карбонад» с лонсдейлитом – новая (IX) Докл. АН СССР, 1981, т. 259, №2, стр. 459-461.
43. Орлов Ю.Л., Бульянков М.А., Мартовицкий В.П. – Сферокристаллы алмаза – новый тип природных монокристаллов, имеющих волокнистое строение. Докл. АН СССР, 1982, т. 252, №3, стр. 703-707.
44. Осоргин Н.Ю., Пальянов Ю.Н., Соболев Н.В. и др. – Включения сжиженных газов в кристаллах алмаза. Докл. АН СССР, 1987, т. 293, №5, стр. 1214-1217.
45. Плотникова С.П., Клюев Ю.А., Парфенович И.А. – длинноволновая ФЛ природных алмазов. Минер. журнал, 1980, №4, стр. 75-80.
46. Плотникова С.П. – Особенности люминесценции алмазов в зависимости от их реальной структуры и условий роста. Автореф. дис. канд. физ-мат. наук, Иркутск, ИГУ, 1981, 22 с.
47. Руденко А.П., Кулакова И.И., Штурман В.Л. – Окисление природных алмазов. Новые данные о минералах, М., изд. Наука, 1979, вып. 28, стр. 105-115.
48. Румянцев Г.С., Надеждина Е.Д., Малиновский Ю.А. – О лонсдейлитсодержащих поликристаллических алмазах. Тр. ЦНИГРИ, 1980, вып. 153, стр. 3-19.
49. Самойлович М.И., Безруков Г.Н., Бутузов В.Г., Солодова Ю.П., Коток А.Д., Кулаков В.М., Уваров В.А. – Типоморфные особенности природных алмазов. Изв. АН СССР, сер. геол., 1973, №8, стр. 3-12.
50. Соболев Е.В., Ильин В.Е., Ленская С.В. и др. – О проявлении «пластиначатых дефектов» в спектрах поглощения и возбуждения люминесценции природных алмазов. Приклад. спектроскопия, 1968, т.9, №4, стр. 654-657.
51. Соболев Е.В., Ленская С.В., Лисойван В.И. О пластинчатых образованиях в структуре природных алмазов. Журн. Структ. Химии, 1968, т.9, №6, стр. 29-33.
52. Соболев Е.В., Лисойван В.И. – Азотные центры и рост кристаллов природного алмаза. Проблемы петрологии земной коры и верхней мантии – Новосибирск, Наука, 1978, стр. 245-255.
53. Соболев Н.В., Лаврентьев Ю.Г., Постполова Л.Н., Соболев Е.В. – Хромовые пиропы из алмазов Якутии. Докл. АН СССР, 1969, т. 189, №1, стр. 162-165.
54. Соболев Н.В. – Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск, Наука, 1974.
55. Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Коптиль В.И., Солодова Ю.П., Суходольская О.В. – Некоторые особенности состава кристаллических включений в россыпных алмазах севера Сибирской платформы. Научные методы прогнозирования поисков и оценки месторождений алмаза, IV Всесоюз. совещ. по алмазам. М., 1980, стр. 67-68.
56. Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Постполова Л.Н. – Самородное железо в алмазах Якутии и его парагенезис. Геохимия и геофизика, 1981, №12.
57. Соболев Н.В. – Парагенезисы алмаза и проблема глубинного минералообразования. Записки Всесоюзного минералогического общества, 1983, г. СХII, вып. 4, с. 389-397.
58. Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Логвинова А.М., Суходольская О.В., Солодова Ю.П. – Распространенность и состав минеральных включений в крупных алмазах Якутии. Докл. АН, 2001, т. 376, №3, с. 382-386.
59. Солодова Ю.П., Коток А.Д., Кулаков В.М., Литвин Л.Т., Подольских Л.Д., Самойлович М.И. – Типоморфные особенности одной из разновидностей кристаллов алмаза. Новые данные о минералах СССР, 1974, вып. 33, стр. 104-112.
60. Солодова Ю.П., Подольских Л.Д., Литвин Л.Т., Кулаков В.М., Бутузов В.П., Самойлович М.И. – Особенности строения природных алмазов V разновидности. Кристаллография, 1975, т.20, вып. 1, стр. 90-95.
61. Солодова Ю.П., Седова Е.А. – Кристаллография и минералогия алмаза. Учебно-методич. пособие. Серия «Границ профессии»: «Технология обработки алмазов», М., 2007, вып. 13, №11.
62. Таращан А.Н. – Люминесценция минералов. Киев, Наукова Думка, 1978, 293 с.
63. Титков С.В., Горшков А.И., Солодова Ю.П., Рябчиков И.Д., Магазина Л.О., Сивцов А.В., Гасанов М.Д., Седова Е.А., Самосоров Г.Г. – Минеральные микровключения в алмазах кубического габитуса из месторождений Якутии по данным аналитической электронной микроскопии. ДАН РАН, 2006, т. 410, №2, стр. 255-258.
64. Урусов В.С. – Энергетическая кристаллография. М., 1975, 333с.
65. Урусов В.С. – Теоретическая кристаллография. М., 1987, 275 с.
66. Ферсман А.Е. – Кристаллография алмаза. М., изд. АН СССР, 1955.
67. Футергендлер С.И. – Рентгенографическое исследование отечественных алмазов и включенных в них минералов. Л., 1964.
68. Шафрановский И.И. – Кристаллография окрупных алмазов. Л., ЛГУ, 1948.
69. Craig H. – Geochemistry of the stable carbon isotopes. Geoch. Et Cosmoch. Acta, 1953, 3, #2/3.
70. Crowningshield R. – Grading Hope Diamond. Gem & Gemology, 1989, v. 25, # 2, pp. 91-94.
71. Fritsch E., Scarlat K. – Natural-Color Nonconductive Gray-to-Blue Diamonds. Gem & Gemology, 1992, v. 28, #1, pp. 35-42.

72. Fritsch E., Shigley J., Moses Th., Rossman G. Examination of the 220carat Green Chameleon Diamond. Edited By Derek J. Content, Leeds, 1995, pp. 15-28.
73. Fritsch E., Massi L., Hainschwang Th and others – A preliminary classification of brown and black diamonds. Gemmobil 2005, pp. 21-23.
74. Fryer Ch. – Chameleon Diamond. Gem & Gemology, 1982, v. 18, #4, p.228.
75. Hainschwang Th., Notary F. – A Natural Diamond with Very High Nickel Content. Gem & Gemology, 2004, v. 40, # 4, pp. 334-336.
76. Hainschwang Th., Simic D., Fritsch E. and others. – Gemological Study of a collection of Chameleon Diamonds. Gem & Gemology, 2005, v. 41, # 1, pp. 20-35.
77. Harris Y., Gurney J. – Inclusions in Diamond. Academic Press, London, 1979, pp. 555-591.
78. Harris J.W. – Diamond Geology. In. Field, J.E. (Ed.) The Properties of Natural and Synthetic Diamond. Academic Press, 1992, London, pp. 345-393.
79. Hofer S. – Pink Diamond from Australia. Gem & Gemology, 1985, v. 21, # 3, pp. 147-155.
80. Kane R., Sh. McClure, Menzguasen J. – The Legendary Dresden Green Diamond. Gem & Gemology, 1990, v. 26, # 4, pp. 248-266.
81. Khamraeva D.S., Sologova Y.P. – Autoradiographie Investigation of Impurity Distribution in Diamond. Gemological Research Conference, San Diego, USA, 2006.
82. Kaiser W., Bond W. – Nitrogen, a major impurity in common type I diamond. Phys. Rev., 1959, v. 115, p. 857.
83. King J., Moses Th., Shigley J. and others. – Characterizing Natural-Color Type IIb Blue Diamonds. Gem & Gemology, 1998, v. 34, # 4, pp. 246-268.
84. King J., Shigley J. – An Important Exhibition of Seven Rare Gem Diamonds. Gem & Gemology, 2003, v. 39, # 2, pp. 136-143.
85. King J., Shigley J., Gelb Th. And others. – Characterization and Grading of Natural Color Yellow Diamonds. Gem & Gemology, 2005, v. 41, # 2, pp. 88-115.
86. Koivula J. – MicroWorld of Diamonds. USA, 2000.
87. Meyer H.O.A., Boyd F.R. Inclusions in diamonds. Yrbk Carnegie Inst. Washington 66, 1968, pp. 446-450.
88. Meyer H., Boyd F. – Composition and origin of crystalline inclusions in natural diamonds. Geoch. Cosmoch. Acta 36, 1972, pp. 1255-1273.
89. Meyer H.O.A. – Inclusions in diamond. Mantle xenoliths. Edited by Nixon P.H. 1987, p.502-522.
90. Moses th., Reinitz I. – Fancy white diamonds. Gem & Gemology, 2000, v. 36, # 2, p.156.
91. Robertson R., Fox J., Martin A. Two types of diamonds. Phil. Trans. Rey. Soc. 1934, A, 232, #719.
92. Sobolev N.V., Sobolev V.N., Snyder G.A., Yefimova E.S., Taylor L. – Significance of eclogitic and telated parageneses of natural diamonds. Int. geol. Rev. 1999, 41, pp. 129-140.
93. Stachel T. – Diamonds from the asthenosphere and the transition zone. Eur. J. Miner., 13, 2001, pp. 883-892.
94. Sunagawa I. – Morphology of natural and synthetic diamond crystals. Mater. Sci. Earth Inter., Tokio, dordrecht e.a., 1984, pp. 303-330.
95. Sutton J. – Diamond, London, 1928.
96. Taylor W. – A reappraisal of the nature of fluids included by diamond a window to deep-seated mantle fluids and redox conditions. Geol. Soc. Aust. Spec. Publ., 1988, 13, pp. 333-349.
97. Taylor L.A., Anand M. – Diamonds: time capsules from the Siberian Mantle. Chem. Der Erde. Geochemistry, 64 (2004)1, pp. 1-94.
98. Wickman F. – The cycle of carbon and the stable carbon isotopes. Geoch. Cosmoch. Acta, 1956, #9, #3.

### Глава 3

- Орлов Ю.Л. Морфология алмаза. Изд-во АН СССР, 1963.
- Орлов Ю.Л. Минералогия алмазов. - М.: Наука, 1984. – 264 с.

- Бартошинский З.В., Квасница В.Н. Кристалломорфология алмаза из кимберлитов. Киев, 1991, 170 стр.
- Кухаренко А.А. Алмазы Урала. Госгеолтехиздат, 1955, 514 стр.
- Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Зуев В.М. История алмаза, М., 1997, 600 стр.
- Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М., 1998, 554 стр.
- ГОСТ Р 51519.2-99 — Алмазы природные необработанные. Сортировка алмазов. Основные положения Госстандарт России, 28.12.1999 8стр.
- ГОСТ Р 51519.2-99 — Алмазы природные необработанные. Классификация. Основные признаки.01.09.2000.

### Глава 4

- Винс В.Г. «Изменение цвета кристаллов алмаза» «Вестник геммологии». №3. 2001стр. 10-19.
- Винс В.Г. Спектроскопия оптически активных дефектов в синтетическом алмазе. Автореферат дисс. канд. физ.-мат. наук. Минск, ИФТГиП АН БССР – 1989. 21 стр.
- Винс В.Г., Елисеев А.П., Фейгельсон Б.Н. Крупные синтетические алмазы – свойства и перспективы применения. Тез. докл. Всесоюз. конф. по применению алмазов в электронике. – М., 1991, стр. 92-93.
- Епифанов В.И., Песина А.Я., Зыков Л.В. Технология обработки алмазов в бриллианты. – М: Высшая школа, 1976г.
- Лейпунский О.И. Об искусственных алмазах. Успехи химии. – 1939г. – вып. 8, стр. 1519-1534
- Малоголовец В.Г. Изучение примесного состава и реальной структуры синтетических алмазов спектроскопическими методами. Автореферат дисс. канд. физ.-мат. наук. Киев, ИПМ АН УССР, 1979, 21 стр. ТУ РФ 117- 4.2099 – 2002
- Пальянов Ю.Н., Малиновский И.Ю., Бордзов Ю.М. и др. – Выращивание крупных монокристаллов алмаза на беспресовых аппаратах типа «разрезная сфера». – Докл. АН СССР – 1990г., т.315, стр.1221-1224.
- ТУ РФ 117-4.2099-2002.
- Фейгельсон Б.Н., Патрин Н.С., Патрин Ю.В., нехаев П.Ю. – Получение крупных монокристаллов алмаза на аппаратах высокого давления типа «разрезная сфера» - Перспективные материалы твердотельной электроники. Твердотельные преобразователи в автоматике и робототехнике. – Тезисы науч.-техн. конф., Минск, 1990г., ч.1, стр.7778.
- Д. Элуэлл «Искусственные драгоценные камни» М., «Мир», 1981. 170 стр.
- СИВЮ: Алмазы, Ювелирные камни, Жемчуг – М: 1993
- D. Fisher, R. Spits "Spectroscopic evidence of GE-POL HPHT-treated Natural type IIa diamonds", Gem & Gemology, spring 2000, p. 42-49.
- Ph. Martineau, S. Lawson, A. Taylor and others "Identification of Synthetic Diamonds grown Using Chemical Vapor Deposition (CVD)", Gem & Gemology, Vol. 40, # 1, 2004, pp. 2-25.
- King J., Th. Moses, J. Shigley, Yan Liu. - Color Grading of Colored Diamonds in the GIA Gem Trade Laboratory. Gems & Gemology, 1994, v. 30, # 4, pp. 220-242.
- King J., J. Shigley, S. Guhin and others. Characterization and Grading of Natural-Color Pink Diamonds. Gems & Gemology, 2002, v. 38, #2, 128-147.
- J. Koivula "The MicroWorld of Diamonds", Northbrook, IL, USA, 2000.
- Moses T., Shigley J., S. McClure and others "GE-Processed Diamonds: a Photographic Record", Gem & Gemology, Fall 1999, p. 14-22.
- J. Koivula and Ch. Fryer "Identifying Gem-Quality Synthetic Diamonds: an Update", Gem & Gemology, Vol. 20, # 3, 1984, pp. 146-158.
- J. Koivula, R. Kammerling, E. Fritsch and others The Characteristics and Identification of Filled Diamonds – Gem & Gemology, v. 25, # 2, pp. 68-83.

- 20.A.H. Shen, W. Wang, M.S. Hall and others "Serenity Coated Diamonds: detection and Datability", Gem & Gemology, Spring 2007
- 21.J. Shigley, E. Fritsch, J. Koivula and others "The Gemological properties of the Sumitomo Gem-Quality Synthetic Yellow Diamonds", Gem & Gemology, Vol. 22, #4, 1986, pp. 192-208.
- 22.J. Shigley, E. Fritsch, C. Stockton and others "The Gemological Properties of the De Beers Gem-Quality Synthetic Diamonds", Gem & Gemology, Vol. 23, #4, 1987, pp. 187-206.
- 23.J. Shigley, E. Fritsch, J. Koivula, N. Sobolev and others "The Gemological Properties of Russian Gem-Quality Synthetic Yellow Diamonds", Gem & Gemology, Vol. 29, #4, 1993, pp. 228-248.
- 24.J. Shigley, Th. Moses, I. Reinitz and others "Gemological Properties of Near-Colorless Synthetic Diamonds", Gem & Gemology, Vol. 33, # 1, 1997, pp. 42-53.
- 25.Smith Ch.P., Bosschart G., Ponahlo J. and others "GE POL Diamonds: Before and After" – Gem & Gemology, Fall 2000, p. 192-215.
- 26.Vins V.G., Feigelson B.N. Optical properties of large synthetic diamonds. Abstracts of International Conf. "Carbon-90". Paris, 1990, pp. 117-118.
- 27.W. Wang, Th. Moses, R. Linares and others "Gem-Quality Synthetic Diamonds grown by a Chemical Vapor Deposition (CVD) Method", Gem & Gemology, Vol. 39, # 4 2003, pp. 268-283.
- 28.W.Wang, Ch. Smith, M.Hall and others. "Pink-to-Red Diamonds from Luchent Diamonds Inc". Gem & Gemology, Spring 2005, p.6-19.
- 29.Ch. Welburn, M. Cooper, P. Spear "De Beers Natural versus Synthetic Diamond verification Instruments", Gem & Gemology, Vol. 32, #3, 1996, pp. 156-169.

## Глава 5

1. В.С. Вавилов. «Алмаз – широкозонный полупроводник». В сб. «Алмаз в электронной технике», Энергоатомиздат, М., 1990, стр. 14-21.
2. В.Б. Квасков, С.П. Плотникова, Е.А. Седова и др. «Фотопроводимость и электронная эмиссия в кристаллах природного алмаза». В сб. «Благородные металлы и алмазы в новых областях техники», Гиналмаззолото, М., 1991, стр. 40-49.
3. В.Б. Квасков. «Оптоэлектронные свойства природного алмаза и перспективы применения». В сб. «Алмаз в электронной технике», Энергоатомиздат, М., 1990, стр. 92-109.
4. С.Ф. Козлов. «Алмазные детекторы ядерных излучений». «Алмаз в электронной технике», Энергоатомиздат, М., 1990, стр. 34-56.
5. С.Ю. Борзенко, Р.Б. Зезин, В.М. Кулаков. «Природный алмаз для детекторов ионизирующих излучений». В сб. «Благородные металлы и алмазы в новых областях техники», Гиналмаззолото, М., 1991, стр. 57-65.
6. С.Ф. Козлов, Е.А. Конорова, М.И. Крапивин и др. «Применение алмазных детекторов в качестве погружных α-счетчиков». Атомная энергия. 1976. Том 40. Вып. 6. Стр. 482-483.
7. Г.Б. Бокий, Г.Н. Безруков, Ю.А. Клюев и др. «Природные и синтетические алмазы». М., «Наука», 1986. 221 стр.
8. В.И. Непша, Ю.А. Клюев. «Алмазные теплоотводы в электронных приборах». В сб. «Алмаз в электронной технике», Энергоатомиздат, М., 1990, стр. 140-155.
9. Де Бирс объявляет о новой стратегии, направленной на повышение спроса на ювелирные украшения с бриллиантами и перестройку алмазной промышленности//Пресс-релиз De Beers. 2000. 12 июля.
10. Де Бирс прошла «точку возврата» в проекте маркировки// Обзор публикаций ECO. 1999. №04-05. С.2-13
- 11.Кириллина Л.К. Мировое производство необработанных природных алмазов//Кундэл. 1999. №4-5. С. 8-13.
- 12.Киселева Е. Алмазы перестала быть валютной ценностью// Коммерсант-Daily. 1998. 1 декабря. С. 7.
- 13.Киселева Е. АЛРОСА начинает копать на поле DeBeers// Коммерсант-Daily. 1997. 15 ноября. С.5.

14.Курдюмов О. Алмаз в оправе государевой// Литературная газета. 1997. 30 июля. С.4.

## Глава 6

1. Алмазная революция// Обзор публикаций ECO. 2000. №36. – С.2-5.
2. Антверпенская алмазная биржа обращается к вопросу о конфликтных алмазах// Обзор публикаций ECO. 2000. №26. С.2 – 6.
3. Бабаева С. Алмазная мировая// Московские новости. 1997. 9-16 февраля. С.14.
4. Бабаева С. Российские алмазы: на грани// Московские новости. 1996. 23 июня
5. Гусейнов Э. Алмазный поток из России рвется на мировые просторы// Известия. 1997. 23 июля. С.3.
6. Николаев М.В., Комков В.В., Егоров Е.Г. Формирование эффективной стратегии АБК России в рыночной экономике. // Сборник статей. Москва, 2000г. – С.3-10.
7. Николаев М.В. Межрегиональная интеграция в контексте глобализации алмазного бизнеса//Проблемы современной экономики. СПб. 2005. №1
8. Николаев М.В., Комков В.В., Егоров Е.Г., Дзюбенко В.В., Марактаев А.Н. Стратегия предупреждения экономически негативных явлений для АБК России. //Сборник статей. Москва, 2000 г. – С.27-39.
9. Николаев М.В., Марактаев А.Н., Романов М.В.Интернационализация через призму глобализации алмазного бизнеса «Алмазы, золото, самоцветы: наука, образование, обработка»: 1 научно-практическая конференция: сборник выступлений и докладов. – Якутск.: ЯГУ, 2005
- 10.Николаев М.В., Парников В.В., Марактаев А.Н.Глобализация мировых алмазных рынков«Новые идеи в науках о земле»: 7 Международная конференция.: Матер. Докл. Т2. - М.: Изд-во КДУ, 2005 (11-15 апреля)
- 11.Николаев М.В., Петрова Д.Г. Алмазная дипломатия России. // Сборник статей. Москва, 2000г. – С.11-19.
- 12.Николаев М.В. Геополитическая основа изменений в мировом алмазном рынке «Российский рынок драгоценных металлов и драгоценных камней»: 6 международная деловая конференция в г. Смоленск 2003г.: РДМК №3. – М., 2003 (23-26 мая)
- 13.Николаев М.В. Основные направления развития вертикально-интегрированных объединений - Проблемы современной экономики. СПб. 2005. №3
- 14.Николаев М.В. Современные тенденции развития алмазно-бриллиантового комплекса России в условиях вступления во всемирную торговую организацию на базе межотраслевой и межрегиональной интеграции- Проблемы современной экономики. СПб. 2006. №1/2
- 15.Николаев М.В. Специализация рынков и глобализация мирового алмазного бизнеса (Россия, Якутск)- Проблемы современной экономики. СПб. 2004. №4
- 16.Николаев М.В. Формирование эффективной стратегии алмазно-бриллиантового комплекса России в рыночных условиях. Деп.рук. - Институт Научн. Информ. по Общ. Наукам РАН, №58913 от 18.10.04.
- 17.Положение России на мировом алмазно-бриллиантовом рынке и перспективы развития отечественного алмазно-бриллиантового комплекса// Экономический вестник Саха. 1996. № 27. С. 4-6.
- 18.Санько В. Алмазно-бриллиантовая закомплексованность//Независимая газета. 1996. 20 июня
- 19.Степанов С.А. «АЛРОСА»: прошлое и настоящее. - М., 2002. - 544 с.
- 20.Тесленко В. Организация торговли драгоценными камнями. М.: Инфра-М, 1997. С.122.
- 21.Тесленко В. Скромное обаяние бриллиантового бизнеса // Коммерсант- Daily. 1995. 29 марта. С.1, 10.
- 22.Хаим Ивен-Зор. Проблемы маркетинга алмазного сырья// Обзор публикаций ECO. 2000. №25. С.2-8.

- 23.Хаим Ивен-Зор. Торговое соглашение между Россией и Де Бирс продлено: ЦСО платит «слишком высокую цену», чтобы удержать русских в картеле// Обзор публикаций ЕСО. 1999. №04-05. С.12-17.
- 24.Хан А.С. О концепции развития алмазно-бриллиантового комплекса России //Минеральные ресурсы России. – 1999. -№6. -С.23.
- 25.Чертов А. Торговое соглашение между АК АЛРОСА и Де Бирс подписано!// Якутия. 1997. 22 октября. С. 1- 2.
- 26.Штыров В. Вырастить спрута// Экономический вестник Саха. 1995. № 45. С.1, 3.
- 27.Barnard A. The diamond formula: diamond synthesis. A gemological perspective. - Oxford, 2000. – 166 p.
- 28.Billawski. E. Rogue diamonds: northern riches on Dene land. -Seattle Univ. of Washington, 2004. – 256 p.
- 29.Carstens P. In the company of diamonds: De Beers, Klin Zel and the control of a town. - Athens, 2001.- 257 p.
- 30.China deconstructs: politics, trade and regionalism /D.Goodman, G.Segal (eds). - L., 2002. – 364 p.
- 31.Even-Zohar Ch. De Beers signs new trade agreement with the Russians// Mazal U'Bracha. 1997. №95. P.27.
32. Scriven S. Yeltsin passes diamond law// Mazal U'Bracha. 1998. №101. P.29-1997. №97. P.62-63.
- 33.The region in the new economy: an international perspective on regional dynamics in the 21-st century /Y.Migano te al (eds). - Aldershot, UK, 2002. – 430 p.
- 34.Using community informatics to transform regions /S.Marshall, W.Taylor, X/Vu (eds). - Hershey, PA, 2004. – 302 p.

#### Интернет ресурсы по АБК

##### Профессиональные сети

- RapNet - Алмазная биржа в интернет <http://www.diamonds.net/>  
 GemKey- Глобальная Информационная Служба <http://www.Remkey.com/>  
 POLYGON - Сеть для ювелиров <http://www.polygon.net/>  
 Русская ювелирная сеть <http://www.iwellernet.ru/>  
 Ювелирная эволюция <http://www.jevol.ru>  
 Драгоценные камни, драгоценные металлы <http://www.rdmk.ru>  
 Отраслевой медиа холдинг РЕСТЭК <http://www.rjexpert.ru>
- Геммологические институты и лаборатории**
- Геммологический институт Америки <http://www.gia.org/>  
 Геммологическая Ассоциация и Лаборатория Великобритании <http://www.gagtl.ac.uk/gagtl/>  
 Геммологическая лаборатория в Лондоне <http://www.precious-stonelab.co.uk/>  
 Канадский институт геммологии <http://www.cigem.ca/>  
 Международный геммологический институт <http://www.igiworldwide.com>  
 Европейская геммологическая лаборатория <http://www.egl.co.za/>  
 Геммологическая лаборатория ГемПрофиль (Gem Profile) <http://www.gemprofiles.com>  
 Швейцарский геммологический институт SSEF <http://www.ssef.ch/main.html>  
 Геммологическая лаборатория Adamas <http://www.gis.net/%7Eadamas>  
 Геммологическая лаборатория Diamond Profile <http://www.diamondprofile.com/dpl.htm>  
 Исследования бриллиантовой огранки  
 Результаты исследования бриллиантовой огранки в МГУ – <http://www.gemology.ru/cut/russian/docunient4.htm>  
 Michael Cowing. Исследование анализа огранки бриллианта, проделанного в GIA – <http://www.geocities.com/acagemlab/>

Garry Holloway. Исследование бриллиантовой огранки [http://diamond-cut.com.au/Quantifiable\\_Symmetry\\_Analysis -\\_Overview\\_by\\_Gem\\_Profile's\\_Library](http://diamond-cut.com.au/Quantifiable_Symmetry_Analysis -_Overview_by_Gem_Profile's_Library)  
<http://www.gemDrofiles.com/55221/98978.htm>  
 Facet Shoppe - Computer-Related Faceting Possibilities <http://www.gemcutter.com/pioneer.htm>

##### Минералогические ресурсы

- Международная минералогическая ассоциация <http://server.dst.unipi.it/ima/>  
 Минералогическое общество Америки <http://www.mmsocam.org/>  
 Список минералов <http://www.minsrec.org/index.html>  
 Музей естественной истории <http://www.lam.mus.ca.us/>  
 Минералогический музей Ферсмана <http://www.finm.ru/>  
 База данных коллекционных минералов <http://www.webmineral.com/>  
 Ассоциации и общества  
 Международная ассоциация по цветным камням <http://www.gemstone.org/>  
 Американское общество оценщиков <http://www.appraisers-norcal.com/>  
 Ювелиры Америки <http://www.jewelers.org/>  
 Американское общество по драгоценным камням <http://www.ag.s.org/>  
 Геммологическая ассоциация Великобритании <http://www.gagtl.ac.uk/gagtl/>  
 Геммологическая ассоциация Австралии <http://www.gem.org.au/>  
 Геммология в Шотландии <http://www.scotgem.demon.co.uk/>  
 Всемирная Федерация Алмазных Бирж <http://www.worldfed.com>  
 Алмазная Биржа <http://www.moscow-diamond-bourse.ru>

##### Периодические издания

- Издательство CRU <http://www.cru-int.com/crupub/diamond.html>  
 Журнал National Jeweler <http://www.national-jeweler.com/>  
 Журнал Diamond and Related Materials <http://www.elsevier.com/>  
 Издательство Jeweller Circular Keystone [http://www.jckgroup.com/index\\_home.html](http://www.jckgroup.com/index_home.html)  
 IDEX Magazine <http://www.idexonline.com/>  
 Rapaport Diamonds Report <http://www.diamonds.net/>

##### Образование

- Американский институт огранки алмаза <http://diamondschool.com/>  
 Страница Van-Daaz: объяснение критерии оценки бриллиантов <http://www.vandaaz.com/4CETCII.HTML>  
 Курс по алмазам и их оценке <http://www.egl.co.za/Courses.htm>  
 Школа по алмазному сырью <http://diamond.co.za/dts/>  
 Диплом по геммологии в Нантском университете <http://www.umedia.univnantes.fr/gemologylink/>  
 НОУ «Геммологический институт» <http://www.gigia.ru>  
 Геммологический центр МГУ <http://www.gemology.ru>

##### Алмазы

- Дебирс <http://www.edata.co.za/debeers/>  
<http://www.debeers.com/us/>  
 АЛРОСА <http://www.alrosa.ru/>  
 История огранки бриллианта <http://www.diamondbroker.com/HistoryOfCutandBeauty.htm>  
 Американский музей естественной истории: природа алмаза <http://www.amnh.org/exhibitions/diamonds/>  
 Компания EightStar Diamonds <http://www.eightstar.com/indexnew.html>  
 Высший алмазный совет Бельгии (HRD) <http://www.diamonds.be/>  
 Израильская алмазная промышленность <http://www.diamonds.org.il/>  
 Цены на бриллианты в Антверпене <http://www.diamondstockexchange.com/RAAP.htm>  
 DiamondGrading.com <http://diamondgrading.com/>  
 Accurate Appraisal Associates <http://www.accurateappraisal.com/>

The Diamond Registry <http://www.diamondregistry.com/index.htm>  
**Торговля**  
A.D.Van-Daaz <http://www.vandaaz.com/>  
Mondera.com <http://www.mondera.com/>  
National Gemstone's Web Page <http://www.primenet.com/~rgems/>  
Pala international <http://www.palagems.com/>  
Goodfine diamond international corporation <http://www.goodfinediamond.com/default2.htm>  
Алмазная палата (биржа) Россия <http://www.diamond-chamber.ru/>  
СПО «Кристалл» - крупнейший в России завод по огранке бриллиантов  
<http://www.kristallsmolensk.coni/>  
**Интернет Форумы**  
Diamonds discussion forum <http://www.diaraondtalk.com/>

**Российские ювелирные ресурсы**  
Ювелирная выставка JUVELIRNET <http://www.firbirus.ru/iuvelinet/>  
Русский ювелирный сервер <http://www.jeweller.ru/>  
Историко-геммологическое общество Lithica <http://heritage.eunnet.net/lithica/>  
Музей Московского Кремля <http://www.kreml.ru>  
Международная Московская ювелирная ярмарка <http://www.iewelleryfair.ru/>

**Ювелирный портал**  
Отраслевой портал:  
поисковая система, ежедневные новости, объявления и другое <http://www.juvelinet.ru>  
Сапфир M - мир, где правят камни!  
Оптово-розничная продажа драгоценных камней и ювелирных изделий  
<http://www.saphirem.ru>  
Ювелирный музей  
Ювелирные изделия различных стран и народов, история ювелирных украшений  
<http://www.jewellerymuseum.ru>  
Журнал «Алмазы и золото России <http://www.almazzoloto.com>  
Ювелирный мир <http://www.jewworld.jewellernet.ru>

**Коллекции ссылок**  
Веб-страницы в ювелирной отрасли <http://www.diamonds.com/websites/>  
Ссылки на страницы о камнях и минералах  
<http://www.geo.utexas.edu/347k/redesign/links.htm>  
Ссылки для минералогов и геммологов [#gemmolo gy](http://www.uni-wuerzburg.de/mineralo/gie/kno_w2.html)  
Технологии и оборудование для огранки  
Система компьютерной разметки алмазного сырья ПаКор  
<http://www.gemology.ru/octonus/russian/pakor.htm>  
Компьютерные системы проектирования огранки <http://www-dsg.eng.cam.ac.uk/icad/>  
Facet Shoppe - Computer-Related Faceting Possibilities  
<http://www.gemcutter.com/pioneer.htm>  
Геммологическое оборудование <http://www.sartogosm.ru>  
Ювелирная техника и технологии <http://www.jewellerytech.ru/>

**Diamond mining**  
Adesh International <http://www.geskay.com;Amcorp>  
<http://www.shore.net/~icorp/amcorp/ajimineshow.html>; Anvill Resources; Argyle Diamond Mine; Ashton Mining Limited ; Astro Mining N.L; Brazildiam Diamond Export; CanaAlaska Ventures Inc <http://www.canalaska.com>; Canadian Mining Newsletter; Cullinan Preziosi; De Beers Group of Companies; Diamond Cartel; Diamond Field International; Consolidated Mines; De Beers Group of Companies; Diamond Works Ltd.; Dimatec Inc.; Falcon Drilling; FancyDiam Ltd.; Firestone Diamond Stocks; Diamond Works Ltd.; Dimatec Inc.; Falcon Drilling; FancyDiam Ltd.; Firestone

Diamonds PLC; Gemstones of Afganistan; Ghana; Gold 'n Gem Grubbin; GOLDSHEET Mining Directory; Great Western Diamond Company; Hinton Diamond Project; Info Mine; KP Sanghi & Sons; Kensington Resources; Kimberly; Kimberly Diamond Corp; Mysterydiamonds; Namibia; Pan Asia Mining Corp; Pele Mountain Resources Inc.; Rex Diamond Mining Corporation; Rimfire Pacific Mining NL; River Diamonds Limited; SearchGold Resources Inc.; Serengeti Diamonds; Sierra Leone; Sundico; Van Zyl Brothers; Western Australia; Zimbabwe.

Учебное издание

**ГЕММОЛОГИЯ АЛМАЗА**

Технические редакторы: Потапова В.В., Агафонова А.К.

Корректор Зыкова В.К.

Дизайнер обложки Попов О.П.

Подписано в печать 11.11.08. Формат 150 x 205 мм.

Бумага 90 гр/м<sup>2</sup>, матовая MAGNO SATIN.

Печать офсетная.

Усл.печ. л. 52. Тираж 1500 экз.

Заказ № 01167

Отпечатано в ЗАО «Издательство «Агат»,

625048, г. Тюмень, ул. Елизарова, 6, корп. 1,

Тел./ факс: 8 (3452) 34-48-87, 34-48-91