

№ 1956

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра обогащения руд цветных и редких металлов

Б.Е. Горячев

Технология алмазосодержащих руд

Алмазы, кимберлиты, минералы кимберлитов
Минерально-сырьевая база
алмазодобывающей промышленности мира

Учебник

Допущено учебно-методическим объединением по образованию
в области металлургии в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлению
150100 – Металлургия



Москва 2010

УДК 765.00

Г67

Рецензент

д-р техн. наук, проф. *Л.С. Стрижко*

Горячев Б.Е.

Г67 Технология алмазосодержащих руд. Алмазы, кимберлиты, минералы кимберлитов. Минерально-сырьевая база алмазодобывающей промышленности мира: Учебник – М.: Изд. Дом МИСиС, 2010. – 326 с.

ISBN 978-5-87623-322-6

В учебнике рассмотрен комплекс физических, химических и физико-химических свойств природных алмазов, их минералогия, а также геология и минералогия кимберлитов как основного вида алмазосодержащих горных пород.

Предназначен для студентов, обучающихся по направлению «Металлургия», по профилю «Металлургия цветных металлов». Может быть рекомендован для подготовки специалистов по направлению «Обогащение полезных ископаемых».

УДК 765.00

ISBN 978-5-87623-322-6

© Б.Е. Горячев, 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АЛМАЗАХ	8
1.1. История алмазов.....	8
1.2. Исторические алмазы	10
1.3. Мировой алмазный рынок	20
1.4. Кристаллы-гиганты.....	24
1.5. Стоимость алмазов.....	30
1.5.1. Экспертная оценка бриллиантов	31
1.5.2. Оценка стоимости бриллиантов	45
Библиографический список	47
Глава 2. МИНЕРАЛОГИЯ АЛМАЗА	48
2.1. Разновидности кристаллов алмаза	48
2.2. Структура алмаза	63
2.3. Химический состав алмазов	64
2.4. Свойства алмазов	74
2.4.1. Физические свойства алмазов	75
2.4.2. Химические свойства алмазов.....	109
Библиографический список	111
Глава 3. КОРЕННЫЕ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОДЫ	114
3.1. Кимберлитовые горные породы	114
3.2. Классификация кимберлитовых пород	119
3.3. Петрография кимберлитовых пород	138
3.4. Петрография родственных кимберлиту пород	139
3.5. Петрография кимберлитов	154
Библиографический список	169
Глава 4. МИНЕРАЛОГИЯ КИМБЕРЛИТОВ	170
4.1. Особенности индикаторных минералов кимберлитов	175
4.1.1. Оливин	175
4.1.2. Гранаты	178
4.1.3. Флогопит	182
4.1.4. Пироксены	185
4.1.5. Ильменит, пикроильменит	188
4.1.6. Циркон.....	193
4.2. Основные вторичные (постмагматические) минералы кимберлитов	195
4.2.1. Серпентин.....	198
4.2.2. Карбонаты.....	202
4.2.3. Оксиды	207
4.2.4. Характерные ассоциации постмагматических минералов в кимберлитах.....	212
Библиографический список	215
Глава 5. МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МИРА	217
5.1. Геолого-генетические типы коренных месторождений алмазов.....	219
5.2. Месторождения Африки.....	230

5.2.1. Месторождения ЮАР	232
5.2.2. Месторождения Ботсваны	243
5.2.3. Месторождения Танзании	249
5.2.4. Месторождения Анголы	255
5.3. Месторождения России	271
5.3.1. Якутская алмазоносная провинция	273
5.3.2. Архангельская алмазоносная провинция	306
5.4. Перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазодобывающей промышленности в мире	319
Библиографический список	323

ПРЕДИСЛОВИЕ

Алмаз – это минерал, состоящий практически из чистого углерода и обладающий кристаллической структурой, которая обеспечивает его уникальные свойства самого дорогого ювелирного камня и делает незаменимым в различных областях техники, начиная от бурения горных пород и применения алмазного инструмента в машиностроении и кончая полупроводниковыми приборами, используемыми в космических аппаратах.

Несмотря на то что алмаз известен человеку начиная с ранних стадий его развития, промышленная добыча алмазов связана с открытием коренных алмазосодержащих месторождений в Южной Африке в конце XIX – начале XX века. Современная алмазодобывающая промышленность России получила свое развитие с середины 20-го столетия, когда в Якутии были открыты первые кимберлитовые трубки Зарница, Мир и Удачная.

Природные алмазы являются довольно редкими полезными ископаемыми, их уникальные свойства приводят к тому, что промышленная добыча алмазов ведется во все увеличивающихся объемах. Современный алмазобриллиантовый комплекс представляет важную отрасль народного хозяйства Российской Федерации, который, наряду с нефте-, газо- и золотодобычей является одним из основных источников золотовалютных резервов страны.

Технология обогащения алмазосодержащих руд является одной из составных частей сложной цепи производственных процессов превращения природных алмазов в бриллианты или различного рода технические изделия: от геологоразведочных работ, приводящих к открытию новых месторождений алмазов, до гранильного производства алмазов в бриллианты.

Учитывая, что промышленное содержание алмазов в коренных месторождениях редко превышает 1 карат на тонну руды ($0,2$ г/т или $2 \cdot 10^{-5}$ %), а стоимость одного карата природного кристалла алмаза существенно зависит от его массы, в технологиях обогащения алмазосодержащих руд часто неэффективно применение традиционных методов и схем рудоподготовки и обогащения руд.

Современная технология обогащения алмазосодержащих руд является классическим примером комбинированных схем обогащения,

в которых с наибольшей эффективностью реализована контрастность свойств кристаллов природных алмазов и минералов, образующих минеральный комплекс кимберлитов. При этом рудоподготовка является «щадящей» и организована таким образом, чтобы при дезинтеграции рудной массы до заданной крупности разрушение крупных кристаллов алмаза было сведено к минимуму.

Для разработки схем обогащения алмазосодержащих руд и правильной эксплуатации оборудования на действующих обогатительных фабриках, перерабатывающих такие руды, необходимо учитывать всю совокупность особенностей алмазосодержащих руд. Прежде всего, это требует знания комплекса физических, химических и физико-химических свойств природных алмазов, их минералогии, а также геологии и минералогии кимберлитов как основного вида алмазосодержащих горных пород. Именно этому посвящена первая часть настоящего учебника, который предназначен для студентов, обучающихся по направлению «Металлургия», по профилю «Металлургия цветных металлов», а также может быть рекомендован для подготовки специалистов по направлению «Обогащение полезных ископаемых».

В первых двух главах первой части учебника «Общие сведения об алмазах» и «Минералогия алмаза» отражены история алмазов, характеристика мирового алмазного рынка и принципы оценки алмазов, а также подробно рассмотрена известная классификация природных алмазов Ю.Л. Орлова и вся совокупность физических, физико-химических и химических свойств алмаза. Это позволяет обосновать дальнейший выбор методов рудоподготовки и извлечения алмазов из алмазосодержащих руд и прогнозировать поведение алмазов в различных обогатительных процессах и аппаратах.

Третья и четвертая главы учебника «Коренные алмазосодержащие породы» и «Минералогия кимберлитов» посвящены геологии кимберлитовых трубок, описанию и классификации кимберлитов как основных пород коренных алмазосодержащих кимберлитов и минералогии кимберлитов. В последнем разделе подробно описана минералогия индикаторных и постмагматических минералов, слагающих кимберлиты. Знание этих разделов позволяет обосновать методы обогащения алмазосодержащих кимберлитов с получением черновых алмазных концентратов и методов их доводки.

В пятой главе учебника рассмотрена тема «Минерально-сырьевая база алмазодобывающей промышленности мира», в которой приведены геолого-генетические типы коренных месторождений алмазов и рассмотрена типизация коренных месторождений алмазов с позиций обогащательных технологий. Приведены данные по основным коренным алмазосодержащим месторождениям ЮАР, Ботсваны, Танзании и Анголы. Подробно рассмотрены месторождения Якутии и Северо-Запада России. Данная глава позволяет сформировать представления о современной минерально-сырьевой базе алмазобриллиантового комплекса как в России, так и в мире, общности и различиях отдельных кимберлитовых трубок.

Написание данного учебника стало возможным благодаря реализации совместного образовательного проекта в рамках сотрудничества в 2003 – 2008 гг. между ГТУ «МИСиС» (сейчас НИТУ «МИСиС») и ГРО «КАТОКА» (Республика Ангола), на протяжении которого автор неоднократно выезжал на крупнейшее в Анголе алмазодобывающее предприятие.

В основе данного учебника лежат известные монографии по геологии, петрологии и минералогии алмазосодержащих руд, авторами или соавторами которых являются В.А. Милашев, Е.В. Франценсон, Дж. Доусон, А.Д. Харькив, Н.Н. Зинчук, В.М. Зуев, В.И. Ваганов, а также монография Ю.Л. Орлова «Минералогия алмаза».

Автор выражает благодарность Генеральному директору ГРО «КАТОКА» доктору Ганга Жуниор за оказанное содействие при сборе материалов, а также работникам данного предприятия доктору Бенедиту Пауло, доктору Феликсу Тунго и канд. геол.-минер. наук В.Н. Зинченко за оказанную помощь и консультации. Автор особо признателен академику РАН В.А. Чантурия за постоянное внимание и советы при обсуждении содержания учебника и подборе необходимой литературы, особенно за предоставление ему редких и раритетных книг из своей личной библиотеки.

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АЛМАЗАХ

1.1. История алмазов [1.1]

Красота прозрачных кристаллов алмаза, их яркий блеск и исключительная твердость привлекли внимание людей с незапамятных времен. Некоторые исследователи предполагают, что алмаз был найден в Индии около трех тысяч лет до нашей эры. Установлено, что за пять веков до нашей эры алмаз был известен древним грекам. Об этом свидетельствует находящаяся в Британском музее греческая бронзовая статуэтка с двумя неотшлифованными алмазами вместо глаз [1.2].

Твердость алмаза была хорошо известна древним. Об этом говорит само слово «алмаз», происходящее или от арабского слова «al-mas», «твердейший», или от греческого «ἀδάμῳζ», «адамас», что в переводе означает «непреодолимый», «несокрушимый», «непобедимый».

В Индии – на родине старейших алмазов – древние индусы разделяли алмазы так же, как и людей, на четыре касты [1.1]:

- Брахманов, к которым относились белые кристаллы алмаза;
- Кшатрий – кристаллы алмаза с красноватым оттенком;
- Войшье – зеленоватые кристаллы алмаза;
- Шудр – серые кристаллы алмаза.

Шудры оценивались в одну четверть, войшья – в половину, кшатрии – в три четверти стоимости брахманов. Такая оценка являлась первой попыткой сортировки алмазного сырья по окраске кристаллов.

Первое подробное описание алмаза дал римский естествоиспытатель Плиний Старший в своем труде «Естественная история ископаемых тел». Первая фраза Плиния об алмазе подчеркивает необычайную редкость и недоступность этого минерала: «Величайшую цену между человеческими вещами, а не только между драгоценными камнями, имеет алмаз, который долгое время только царям, да и то весьма немногим, был известен». Кроме уникальных механических свойств – «твердость алмаза несказанная», Плиний приписывает алмазу мистические медицинские свойства – «алмаз уничтожает действие яда, освобождает от пустых страхов».

Наряду с этим Плиний, описывая формы алмазов, указывает, что алмазные кристаллы напоминают «как бы две кегли, соединенные вместе своими основаниями», т.е. Плиний отмечает особенности формы некоторых округлых алмазов. Кроме того, автор уже тогда говорил о тех-

ническом использовании алмаза: «вырезыватели на камнях стараются приобрести тонкие пластинки алмаза и оправляют их в железо. Посредством их весьма легко продалбливается твердешшее вещество».

Первые успехи в точном познании алмаза связаны с методами его шлифовки, а также с использованием алмазного сырья для обработки других камней. В европейской литературе указывалось, что искусство шлифовать алмазы друг о друга было изобретено фламандцем Ван-Брекенем в 1454 г. Однако этот способ гораздо раньше был известен на Востоке в глубокой древности (в Индии, Ираке, Хорасане).

О высокой культуре обработки камня говорится в книге «О драгоценных минералах» уроженца г. Хорезма Ал-Бируни (973–1048 гг.). О техническом применении алмаза он пишет: «Жители Ирака и Хорасана не различают сортов алмаза и их цвета, и все они для них одинаковы, так как их они употребляют только для сверления... Алмаз обертывают в кусок свинца и осторожно бьют по нему, пока сила ударов не одолеет его и он, ослабев, перестанет сопротивляться им». Изготовленный таким образом порошок алмаза употреблялся для вырезывания изображений и надписей на твердых камнях. Для этого его замешивали с маслом и намазывали на край вращающегося медного диска [1.3].

До появления первых шлифованных алмазов в Европе мало интересовались этими драгоценными камнями. Положение резко изменилось с появлением на мировом рынке первых бриллиантов – алмазов с искусственно прошлифованными плоскостями. Одним из первых известных ограненных алмазов можно считать алмаз «Кох-и-нор» массой 794,5 карата¹, найденный в Индии в 1304 г., масса которого после первой огранки сократилась до 186 кар, а после второй – 108,3 кар.

Огненный блеск бриллиантов, игра всеми цветами радуги привлекли к ним всеобщее внимание, а исключительная редкость крупных алмазов, трудность и дороговизна их обработки в бриллианты сделали их цену настолько высокой, что такими драгоценными камнями владели цари, короли и отдельные вельможи. Именно такие бриллианты украшали и украшают атрибуты государственной власти – царский скипетр, корону.

Характерна судьба известного алмаза «Шах», который до огранки, предположительно, весил 95 кар, а после огранки – 88,7 кар.

В кристаллографическом отношении «Шах» представлял большой октаэдр, сильно вытянутый вдоль одного из октаэдрических ребер.

¹ 1 карат (кар) = 200 мг = 0,2 г.

Этим объясняется удлиненная форма камня. При его огранке часть природных граней осталась нетронутой, а другая часть была заменена отшлифованными плоскостями.

На трех отполированных площадках имеются выгравированные надписи на персидском языке [1.1]:

- «Бурхам-Низам-Шах второй 1000 год» (1591),
- «Сын Джахангир-Шаха, Джахан-Шах 1051 год» (1641),
- «Владыка Коджар Фатх-Али-Шах Султан 1042 год» (1824).

Согласно теории академика АН СССР А.Е. Ферсмана, «Шах» был найден в Индии в конце XVI века и последовательно переходил от одного владельца к другому. Около 1739 г. алмаз был перевезен в Персию. В 1829 г. после убийства русского писателя А.С. Грибоедова (1795–1829 гг.), бывшего послом России в Персии, алмаз был передан персидским принцем Хосрев-Мирзой русскому императору Николаю I в качестве компенсации за убийство посла.

1.2. Исторические алмазы [1.4]

Количество алмазов весом более 100 кар в ограненном виде всегда ограничено, хотя и возросло с открытием южноафриканских алмазодержащих месторождений. Даже не говоря о размерах кристаллов алмазов, их стоимость такова, что они являются атрибутом великого могущества и потенциальным источником благ и бедствий государств и народов. В былые времена уникальные кристаллы алмаза находились в руках слабых правителей, что вызывало зависть соседей и подвергало целые страны в войны. Так, могущество Наполеона могло бы пошатнуться, если бы он не получил заем под заклад принадлежащего ему известного алмаза «Питт».

Среди алмазодобывающих стран Индия является родиной исторических камней. Ниже описаны некоторые из них.

Считают, что алмаз «Кох-и-Нор» (рис. 1.1) был обнаружен в копиях Голконды в Южной Индии и первоначально весил 800 кар. Легенда говорит, что камень попал в руки основателя династии Великих Моголов, затем принадлежал Шах-Джахану и украсил его церемониальный Павлиний трон. Персидский шах Надир при покорении Индии захватил этот алмаз и отвез его в Исфаган. После убийства шаха в 1747 г., во время беспорядков в Исфагане и безуспешной попытки захвата власти обладателем этого алмаза стал афганец Ахмад Абдали,

который увез этот камень в Кандахар, где основал королевскую династию и принял имя Дурр-и-Дауран (Жемчужина века). Он умер в 1773 г. Его сын Тимур перенес столицу в Кабул, куда перевез свои сокровища. После смерти Тимура в 1793 г. алмаз переходил из рук в руки и в 1813 г. оказался в Лахоре, где оставался до 1849 г. В 1849 г. алмаз перешел во владение Ост-Индской компании. По поручению компании лорд Далхаузи 3 июня 1850 г. преподнес камень королеве Великобритании Виктории.

Алмаз «Кох-и-Нор»

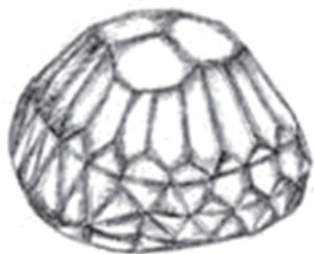


Рис. 1.1. Бриллиант из алмаза «Кох-и-Нор» («Гора света») Фото: <http://forum.aromarti.ru>



Рис. 1.2. Переограненный алмаз «Кох-и-Нор» Фото: <http://forum.aromarti.ru>



Рис. 1.3. Государственная имперская корона Великобритании Фото: http://kokin.aksu-city.kz/book_hannover.htm

До 1852 г. камень сохранял первоначальную индийскую огранку, а в 1852 г. под наблюдением королевского минералога Джеймса Теннанта камень был переогранен в низкий бриллиант (рис. 1.2). Вес его при этом уменьшился с 191 до 108,9 кар.

Королева Виктория носила бриллиант в качестве броши. После ее смерти камень был причислен к королевским регалиям и был укреплен в центре переднего креста Государственной короны (рис. 1.3). Для коронации Ее Величества королевы Великобритании Елизаветы бриллиант «Кох-и-Нор» укрепили в новой короне.

Алмаз «Питт» или «Регент»



Рис. 1.4. Бриллиант из алмаза «Питт» или «Регент»
Фото: <http://forum.aromarti.ru>

Камень, известный под названием «Питт» или «Регент» (рис. 1.4), найден в 1701 г. на алмазных копях Партиаля на Кистне, примерно в 240 км от Голконды в Южной Индии. Первоначально алмаз весил 410 кар. Камень попал в руки персидского купца Джамчунда, у которого камень приобрел Вильям Питт, губернатор форта Св. Джорджа в Мадрасе за 20 400 фунтов. По возвращении в Англию камень был огранен в совершенный бриллиант весом 140,5 кар. Огранка продолжалась два года и обошлась в 5000 фунтов. В 1717 г. Питт продал бриллиант герцогу Орлеанскому за 3 750 000 франков или 135 000 фунтов. Камень был вправлен в корону Людовика XIV при его коронации в 1722 г. Алмаз был использован Наполеоном в качестве залога для обеспечения его походов. В настоящее время бриллиант находится в Лувре. Его размеры 30×29×19 мм; камень отличается необыкновенным блеском и игрой, что связано с совершенством его огранки.

Алмаз «Шах»

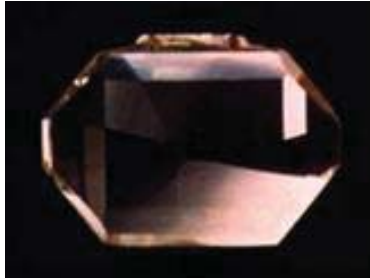


Рис. 1.5. Бриллиант из алмаза «Шах»
Фото: <http://forum.aromarti.ru>

Судьба известного алмаза «Шах» (рис. 1.5), который до огранки, предположительно, весил 95 кар, а после огранки – 88,7 кар, была изложена выше.

Зеленый «Дрезденский алмаз»



Рис. 1.6. Бриллиант «Зеленый дрезденский алмаз»
Фото: <http://forum.aromarti.ru>

Представителем ярко окрашенных камней является «Зеленый дрезденский алмаз» (рис. 1.6). Он представляет собой безупречный яблочно-зеленый чистой воды бриллиант и является украшением для шляпы. Вес камня 41 кар. Камень был куплен в 1743 г. за 60 000 талеров (около 9000 фунтов).

Кроме древней Индии, до открытия южно-африканских алмазов, поставщиком алмазов в Европу являлась Бразилия.

Алмаз «Звезда Юга»



Рис. 1.7. Бриллиант из алмаза «Звезда Юга»
Фото: <http://forum.aromarti.ru>

Крупнейший из бразильских алмазов, получивший название «Звезда Юга» (рис. 1.7), был найден в Багагемских копиях в штате Минас-Жейрас в июле 1853 г. Совершенно прозрачный, без каких-либо оттенков, алмаз вначале представлял собой ромбический додекаэдр и весил 261,88 кар. Алмаз был продан за 40 000 фунтов. Огранка камня производилась в Амстердаме, при этом его вес уменьшился до 128,8 кар.

С открытием южно-африканских алмазов Южная Африка стала основным поставщиком ювелирных алмазов в мире.

Алмаз «Эврика»



Рис. 1.8. Бриллиант из алмаза «Эврика»
Фото: <http://forum.aromarti.ru>

«Эврика» – первый алмаз, случайно найденный в Южной Африке в 1866 г. (рис. 1.8). Его первоначальный вес составлял 21,25 кар, а после огранки – 10,73 кар. Местный житель по имени Эразм Якобс жил со своей семьей у реки Оранжевой, на ферме Де Калк в окрестностях города Хоуптаун. Разыскивая на берегу реки палку для прочистки во-

достока, юноша заметил среди гальки блестящий камешек, который был столь красив, что он отнес его на ферму и подарил своей сестре Луизе. Так в Южной Африке был найден первый алмаз, названный позже «Эврика». Губернатор Капской провинции отправил алмаз весом 21,25 кар в Лондон с тем, чтобы показать его на Парижской всемирной выставке 1867–1868 гг. Семья Якобс отказалась взять денежную компенсацию, сказав, что обычный камень столько не стоит.

Алмаз «Звезда Южной Африки» или «Дадли»



Рис. 1.9. Бриллиант из алмаза «Звезда Южной Африки»
Фото: <http://forum.aromarti.ru>

Первый южно-африканский алмаз значительных размеров был обнаружен в коях на реке Вааль (рис. 1.9). Нашли алмаз дети местного жителя, у которого в 1869 г. его приобрел мистер Ван Ньекирк. Этот владелец перепродал алмаз за 11 200 фунтов. Качество алмаза было превосходным, а его вес составлял 83,5 кар. Из алмаза был получен грушевидный бриллиант весом 47,7 кар. Бриллиант приобрела графиня Дадли, которой он обязан одним из своих названий.

Алмаз «Желтый алмаз Тиффани»



Рис. 1.10. Бриллиант из алмаза «Желтый алмаз Тиффани»
Фото: <http://forum.aromarti.ru>

Этот прекрасный оранжево-желтый камень весом 128,5 кар был получен из кристалла, найденного на руднике Кимберли приблизительно в 1878 г. и весившего 287,4 кар (рис. 1.10). (Некоторые, однако, считают, что название этого алмаза «Рудник Де Бирс» и что он найден в 1887 г.) Алмаз принадлежит нью-йоркской фирме «Тиффани и К°»; он был выставлен для обозрения в нью-йоркском хранилище этой фирмы. Интересна огранка камня: четырехугольная со скругленными углами; на коронке сорок граней, на павильоне – сорок девять; табличка и колета отличаются большими размерами.

Алмаз «Портер Родс»



Рис. 1.11. Бриллиант из алмаза «Портер Родс»
Фото: <http://forum.aromarti.ru>

12 февраля 1880 г. на участке мистера Портер Родса на руднике Кимберли был найден голубовато-белый алмаз, названный по имени владельца участка. Он весил 153,5 кар и представлял собой редкий экземпляр алмаза не только из-за своих размеров, но и благодаря своим качествам; подобного алмаза до того времени в Южной Африке не находили (рис. 1.11). В 1937 г. алмаз перешел в частное владение, был увезен в Индию и переогранен в бриллиант изумрудной огранки весом 56,6 кар.

Алмаз «Де Бирс»



Рис. 1.12. Бриллиант из алмаза «Де Бирс»
Фото: <http://forum.aromarti.ru>

В 1888 г. на руднике «Де Бирс» был найден бледно-желтый криво-гранный октаэдр, весивший 440 кар (рис. 1.12). Свое название алмаз получил в честь рудника «Де Бирс». Из него был огранен бриллиант весом 234,5 кар, который приобрел индийский принц.

Алмаз «Юбилей» или «Рейц»



Рис. 1.13. Бриллиант из алмаза «Юбилей»
Фото: <http://forum.aromarti.ru>

В конце 1895 г. на руднике Ягерсфонтейн был найден крупный алмаз, который сначала получил название «Рейц» в честь мистера Ф.У. Рейца, бывшего в то время президентом провинции Оранжевая Республика. В 1897 г. после огранки это название заменили на «Юбилей» в ознаменование шестидесятилетия вступления королевы Великобритании Елизаветы на трон (рис. 1.13). Алмаз представлял собой октаэдр неправильной формы без четких граней и весил 650,8 кар. Из него был получен безупречный бриллиант весом 245,35 кар. Бриллиант демонстрировался на Парижской выставке 1900 г. После смены нескольких владельцев бриллиант был приобретен Полем-Луи Вейллером для ва-шингтонского Смитсоновского института и выставлен на обозрение.

Алмаз «Куллинан»



Рис. 1.14. Алмаз «Куллинан»

Все алмазы мира не могут сравниться с огромным камнем, найденным на руднике Премьер в районе Претории в Трансваале 26 января 1905 г. в 17 ч. Алмаз получил свое имя в честь сэра Куллинана, президента компании «Премьер Даймонд Майн» (рис. 1.14). Первоначально камень весил 3106 кар (621,2 г). В алмазе были видны три естественные грани. Анализ формы алмаза показал, что он представляет собой лишь часть более крупного камня, превосходящего его более чем вдвое. Алмаз был прозрачным и бесцветным и имел лишь одну маленькую трещину близ поверхности. Камень был приобретен правительством Трансваала за 150 000 фунтов и подарен королю Великобритании Эдуарду VII в день его рождения 9 ноября 1907 г.

23 января 1908 г. камень был передан для огранки амстердамской фирме «И.Й. Ассер и К°». 10 февраля того же года он был расколот на две части, весившие 2029,94 и 1068,09 кар соответственно. Из этих кусков огранили два наиболее крупных бриллианта.

Первый самый крупный ограненный алмаз в мире, получивший от короля Георга V название «Звезда Африки», имеет вид панделюка, каплевидного бриллианта, и весит 530,2 кар, он имеет 74 грани (рис. 1.15).

Каплевидный бриллиант «Звезда Африки»



Рис. 1.15. Бриллиант «Звезда Африки»

Фото: <http://forum.aromarti.ru>

Бриллиант был укреплен в верхней части Державного скипетра (рис. 1.16).

Из второго куска был изготовлен квадратный бриллиант весом 317,4 кар, который имеет 66 граней (рис. 1.17).



Рис. 1.16. Державный скипетр
Великобритании (верхняя часть)

Фото: http://kokin.aksu-city.kz/book_hannover.htm



Рис. 1.17. Квадратный бриллиант
из куска алмаза «Куллинан»

Фото: <http://forum.aromarti.ru>

Этот бриллиант вставлен в Государственную имперскую корону Великобритании (см. рис. 1.3).

Два других крупных камня – бриллиант-панделок весом 94,4 кар и квадратный бриллиант, весящий 63,5 кар, были вставлены в Британскую корону в 1911 г. Общий вес всех ограненных камней, полученных из алмаза Куллинан, составил 1063,65 кар. То есть при огранке было потеряно 65,75 % исходного веса алмаза.

Как следует из приведенного обзора, наиболее известные исторические камни были извлечены из россыпей или коренных кимберлитов Южной Африки, из которых некоторые перерабатываются и в настоящее время, например на рудниках Ягерсфонтейн и Премьер в ЮАР.

1.3 Мировой алмазный рынок [1.5]

Рассматривая алмазы как объект промышленной добычи из россыпных и коренных месторождений, необходимо знать не только способы их извлечения из руд, но и их ценность как одного из видов минерального сырья.

Алмаз, представляющий собой чисто углеродный минерал, благодаря своим уникальным и присущим только ему оптическим (яркий блеск, уникальное светопреломление, сильная дисперсия света), механическим (самая высокая твердость из всех природных материалов) и химическим (необычайная химическая стойкость) свойствам давно и прочно занял главенствующее положение среди всех драгоценных камней.

О стоимости отдельных уникальных ограненных в бриллианты кристаллов алмаза можно судить из приведенного выше обзора исторических камней.

И сегодня бриллиант, полученный в результате огранки алмаза, является уникальным украшением. Считается, что в современном мире более 300 млн женщин имеют ювелирные украшения с бриллиантами.

Алмаз является важнейшим валютным и стратегическим товаром, который кроме ювелирных изделий используется в различных отраслях промышленности в качестве инструмента, полупроводников, теплопроводов, оптических стекол, в космической и радиационной технике и в электронике.

Все эти свойства позволяют расширять добычу алмазов в увеличивающихся масштабах. Так, в период 1955–1990 гг. его добыча из месторождений в мире возросла почти в 6 раз, а цена – почти на 1800 % [1.6].

В 1997 г. мировой объем добычи природных алмазов достиг 114 млн кар, что в стоимостном выражении составило 6,8 млрд долл. США.

В настоящее время добычей алмазов занимаются 26 стран. Основная часть алмазодобывающих стран расположена в Африке (16 стран),

где добываются примерно 54% всех природных алмазов мира. Около 40 % мировой добычи алмазов приходится на Австралию и более 11 % – на Россию (рис. 1.18).

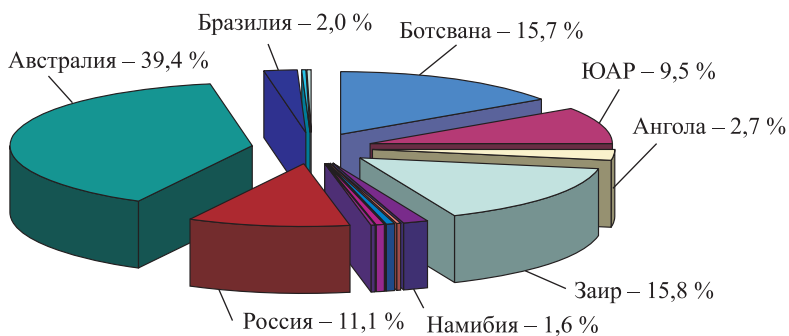


Рис. 1.18. Распределение общей массы добытых алмазов по алмазодобывающим странам (данные за 1992 г.)

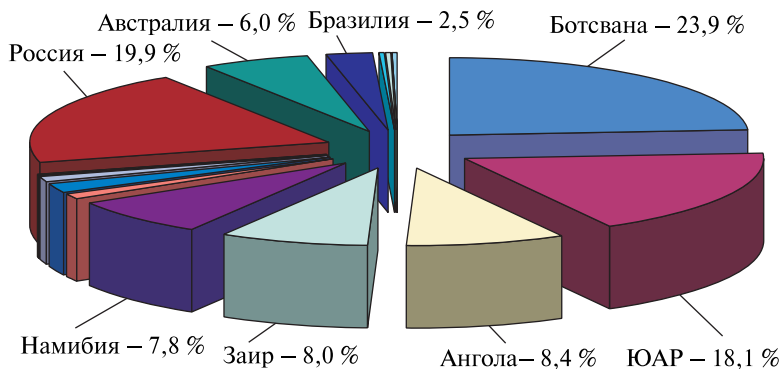


Рис. 1.19. Распределение стоимостного выражения общей массы добытых алмазов по алмазодобывающим странам (данные за 1992 г.)

Рассматривая годовой объем добычи алмазов за 1992–1997 гг., можно сказать, что в целом наблюдался рост добычи (рис. 1.20). Особенно это проявилось в Заире. По другим странам прослеживается либо стабилизация объема добычи алмазов, либо его рост незначителен. Однако в Австралии наблюдалось снижение объема добычи, это связано с тем, что количество алмазов уменьшалось с глубиной их залегания в трубке Аргайл.

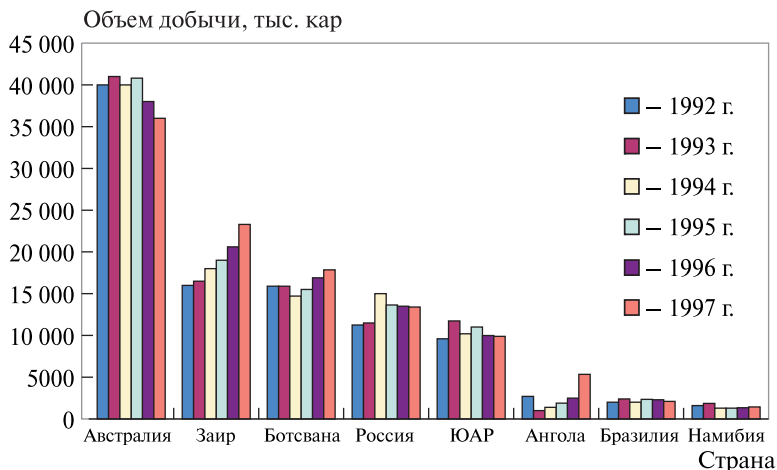


Рис. 1.20. Объем добычи алмазов по основным алмазодобывающим странам за период 1992–1997 гг.

В табл. 1.1 представлены данные по общему объему мировой добычи алмазов за период 1987–1997 гг., а в табл. 1.2 – годовая добыча алмазов на крупнейших алмазодобывающих рудниках мира.

Несмотря на то, что большинство алмазодобывающих стран поддерживают договорные отношения с ТНК Де Бирс по согласованию годовых объемов добычи и особенно объемов продаж, что регулирует алмазный рынок (одноканальная система продаж), анализ общего объема мировой добычи алмазов в 1987–1997 гг. показывает на определенную тенденцию роста объемов мировой добычи алмазов на 2...3 % (см. табл. 1.1).

Таблица 1.1

Общий объем мировой добычи алмазов в 1987–1997 гг.

Год	Мировая добыча (кроме России), млн кар	Рост добычи по отношению к 1987 г., %	Ежегодный прирост добычи, %	Добыча в России, млн кар	Рост добычи по отношению к 1987 г., %	Мировая добыча с учетом России, млн кар	Ежегодный прирост добычи, %
1987	78,70	100		12,00		90,70	
1988	86,73	110,06	10,06	12,00	0	98,73	8,85
1989	86,50	109,77	-0,27	12,00	0	98,50	-0,23
1990	91,70	116,37	6,01	15,00	25	106,70	8,32
1991	86,30	109,52	-5,89	13,00	-13,33	99,30	-6,93

Окончание табл. 1.1

Год	Мировая добыча (кроме России), млн кар	Рост добычи по отношению к 1987 г., %	Ежегодный прирост добычи, %	Добыча в России, млн кар	Рост добычи по отношению к 1987 г., %	Мировая добыча с учетом России, млн кар	Ежегодный прирост добычи, %
1992	90,12	114,37	4,43	11,25	-13,33	101,37	2,08
1993	98,73	125,29	9,55	11,50	2,22	110,23	8,74
1994	91,63	116,28	-7,19	15,00	30,43	106,63	-3,26
1995	97,90	124,24	6,84	13,65	-9,00	111,55	4,61
1996	97,56	123,81	-0,34	13,50	-1,10	111,06	-0,44
1997	100,42	127,44	2,93	13,40	-0,74	113,82	2,48
Среднее значение			2,61		2,00		2,42

Таблица 1.2

Годовая добыча алмазов на крупнейших рудниках мира (1998 г.)

Страна, Производитель	Рудник	Годовой объем добычи, тыс. кар	Содержание в руде, кар/т	Цена 1 кар, долл.	Стоимость, млн долл.
ЮАР, Де Бирс	Венешиа	4300	1,3	90	387
	Намакваленд	700	0,2	185	130
	Премьер	1600	0,42	80	128
	Финш	2100	0,59	60	126
	Кимберли	560	0,16	110	62
	Оранжевая	190	0,04	230	44
	Коффифонтейн	140	0,08	150	21
Ботсвана, Дебсвана	Джваненг	11 350	1,23	90	1022
	Орапа	5600	0,71	43	336
	Летлакане	900	0,29	115	104
Намибия, Намдеб	Намдеб (на суше)	880	0,04	325	286
	Намдеб (на море)	500	0,25	225	113
Австралия, Рио Тинто (Эштон)	Аргайл	36 000	2,81	8	288
Заир, МИБА	МИБА	6800	1,31	11	75
Россия, АЛРОСА	Трубка Удачная	10 200	1,28	95	969
	Трубка Юбилейная	2700	0,60	65	176
	Трубка Сытыканская	500	1,00	130	65

Анализ годовой добычи алмазов на ведущих алмазодобывающих рудниках мира (см. табл. 1.2) показывает, что наибольшее количество алмазов добывается на руднике Аргайл в Австралии (36 000 тыс. кар/год). При этом алмазы, добываемые на руднике, являются низкокачественными. По данным за 1998 г. средняя цена одного кар алмазов составила всего 8 долл. В то же время содержание алмазов в трубке АК-1 составило 2,81 кар/т. Вторым по годовой добыче алмазов является рудник Джваненг, расположенный в Ботсване (11 350 тыс. кар/год). С учетом средней стоимости алмазов в трубке Джваненг (90 долл.) данный рудник по стоимостному выражению годовой добычи алмазов является лидирующим в мире (11 022 млн долл.).

Одно из лидирующих положений в мировой алмазодобыче занимают рудники АК АЛРОСА (Россия). Совокупная добыча алмазов из трех трубок (см. табл. 1.2) Удачная, Юбилейная и Сытыканская в 1998 г. составила 13 400 тыс. кар/год, что в стоимостном выражении равно 1210 млн долл.

Наиболее высококачественные алмазы добываются на россыпных месторождениях Намибии (прибрежных и морских). Эти алмазы оцениваются в 325...225 долл. за карат. К ним примыкают алмазы россыпных месторождений ЮАР: Оранжевая (230 долл. за карат) и Намакваленд (185 долл. за карат). Однако эти месторождения характеризуются низким содержанием алмазов – 0,04 кар/т и 0,2 кар/т.

1.4 Кристаллы-гиганты [1.7]

По размерам природные алмазы кимберлитового типа исключительно разнообразны. Известны кристаллы до нескольких сантиметров в поперечнике, но наблюдаются алмазы размером не только в десятые, но и сотые доли миллиметра. Самым крупным ювелирным алмазом, обнаруженным в природе, является алмаз «Куллинан» (п. 1.2) весом 621,2 г (3106 кар) и размером 10×6,5×5 см [1.1, 1.4]. В кимберлитах трубки Удачная найден технический алмаз общим весом 2,5 кг, алмазное вещество которого образовало срастания с другими минералами – гранатом и пероксеном (хромдиосидом).

Вопрос возможного извлечения таких уникальных кристаллов алмаза из его эксплуатируемых коренных месторождений является актуальным в силу их исключительно высокой цены. Известно, что цена природных алмазов возрастает в квадратичной зависимости от их массы [1.8].

Вопрос о возможности существования в природе более крупных алмазов до сих пор является дискуссионным. Первой причиной разрушения крупных кристаллов алмаза могут быть определенные геологические процессы:

- в недрах Земли при дроблении материнской породы на глубине 150...200 км;
- при транспортировке их магматическим расплавом от места образования до поверхности;
- в близповерхностных условиях при образовании трубок в процессе бурной взрывной деятельности поднимающегося магматического расплава.

О протекании таких процессов свидетельствуют кристаллы алмаза с природными сколами.

Второй причиной возможного разрушения крупных кристаллов алмаза является проведение на месторождении горных работ, связанных с разрушением кимберлитов при их добыче как открытым, так и подземным способом. Такая опасность особенно возрастает при использовании современных, высокопроизводительных методов ведения горных работ с использованием взрывов.

В качестве третьей причины выступают процессы обогащения алмазосодержащих руд, главными из которых являются дробление и измельчение руд перед их обогащением.

Природные алмазы, извлеченные из коренных месторождений, наиболее часто имеют массу 8...10 мг. В табл. 1.3 приведены соотношения размеров и среднего веса кристаллов алмаза [1.9].

Таблица 1.3

Зависимость среднего веса кристаллов алмаза от их крупности

Размер кристаллов, мм	Средняя масса кристалла		Количество кристалла в одном кар, шт.
	мг	кар	
0,01	0,0000018	$9,0 \cdot 10^{-9}$	111 111 111
0,05	0,0002	$1,0 \cdot 10^{-6}$	1 000 000
0,1	0,0018	$9,0 \cdot 10^{-6}$	111 111
0,5	0,5	0,0025	400
0,7	1	0,005	200
1,4	5	0,025	40
1,8	10	0,05	20
2,4	20	0,10	10
3,0	50	0,25	4
3,7	100	0,5	2