



*Double Rose*



*Jubilee*



*Round  
Brilliant*



*Cushion  
Antique*



*Triangle*



*Heart*



*Hexagon*



*Asscher*



*Radiant*



*French*



*Princess  
French Corner*



*Carre  
(Step Cut)*



*Flanders*

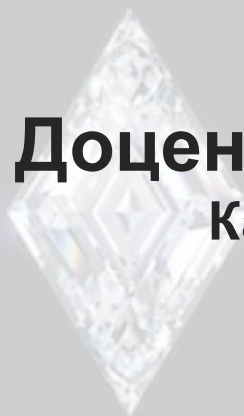


*Octagon*

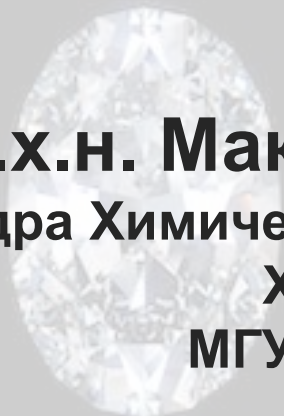
# АЛМАЗЫ – «ИЗ ГРЯЗИ В КНЯЗИ»



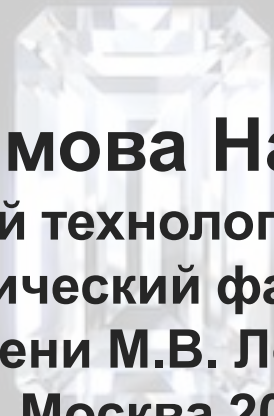
*Marquise*



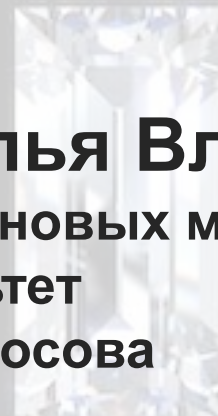
*Lozenge*



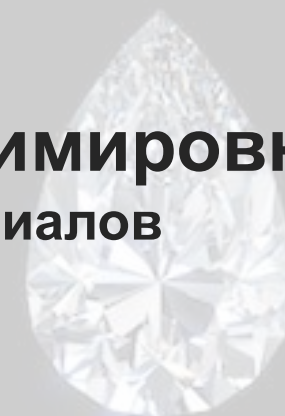
*Oval*



*Emerald*



*Baguette*



*Pear*



*Briolette*

**Доцент, к.х.н. Максимова Наталья Владимировна**

**Кафедра Химической технологии и новых материалов**

**Химический факультет**

**МГУ имени М.В. Ломоносова**

**Москва 2022**

# АЛМАЗ — САМАЯ...МОДИФИКАЦИЯ УГЛЕРОДА



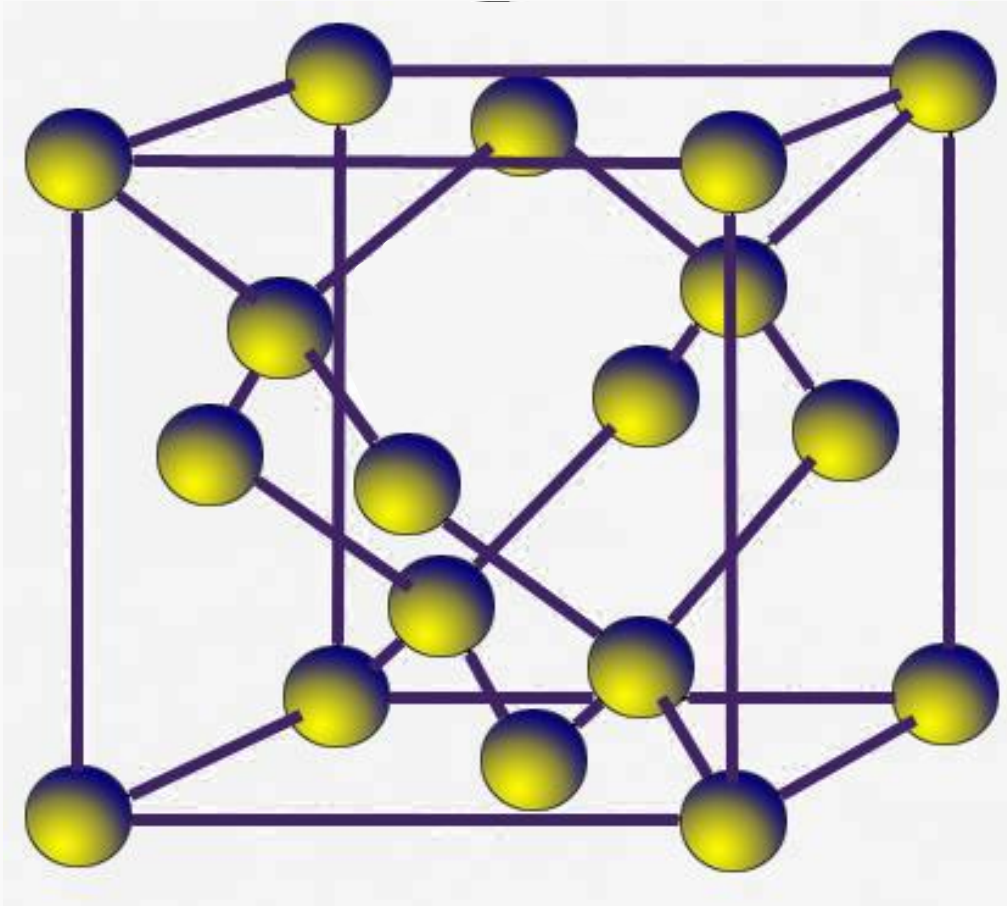
- Самый твердый минерал (10 – твердость по шкале Мооса);
- Наиболее высокая теплопроводность среди всех твёрдых тел 900—2300 Вт/(м·К);
- Полупроводник с шириной запрещенной зоны 4,57 эВ;
- Низкий коэффициент трения (по металлу 0.1);
- Высокий модуль упругости;
- Самый низкий коэффициент сжатия;
- Показатель преломления ~2,4;
- Люминесценция.

Куллинан (1905)

3106 карат (более 620 г)

100×65×50 мм

# СТРУКТУРА АЛМАЗА



Кубическая сингония (гранецентрированная решётка).

Пространственная группа  $Fd\bar{3}m$ , Параметры ячейки  $a = 0,357$  нм,  $Z = 8$ .

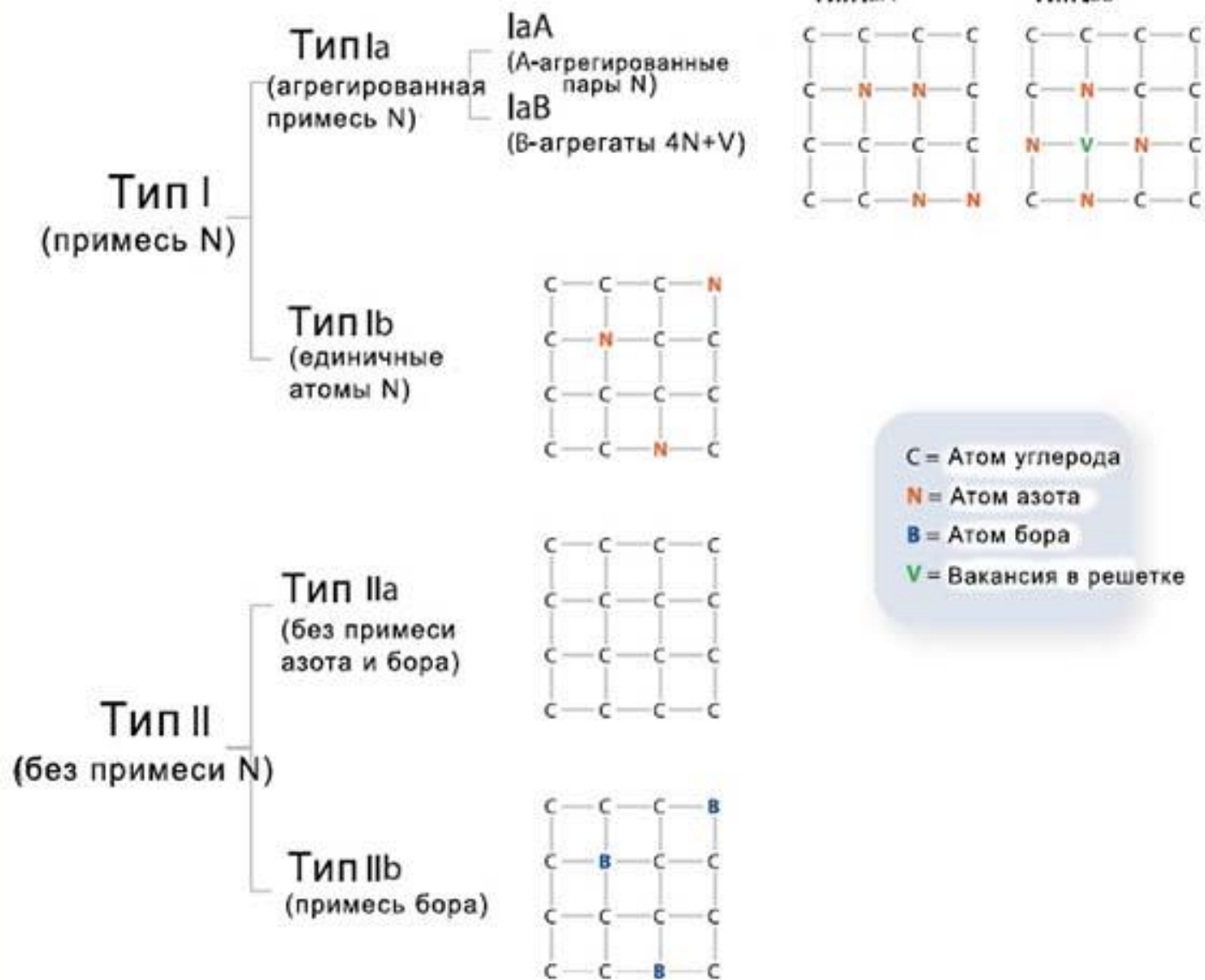
Атомы углерода в алмазе находятся в состоянии  $sp^3$ -гибридизации. Каждый атом углерода в структуре алмаза расположен в центре тетраэдра, вершинами которого служат четыре ближайших атома.

# ТИПЫ АЛМАЗОВ

Классификация алмаза по типам основана на наличии или отсутствии примесей азота и бора и их конфигурации в алмазной решетке

Алмазы **типа Ia** составляют около 98% всех природных алмазов. Примеси азота, вплоть до 0,3% группируются в решетке углерода по всей массе алмаза.

Алмазы **типа IIa** составляют 1-2% от всех природных алмазов. Многие известные крупные алмазы, такие как Куллинан, Кохинор и Lesedi La Rona, относятся к типу IIa. Синтетические алмазы, выращенные с использованием способа CVD, как правило, также принадлежат к этому типу





# СВОДНАЯ ТАБЛИЦА КЛАССИФИКАЦИИ АЛМАЗОВ

<b>Тип</b>	<b>Распространенность</b>	<b>Характерные особенности</b>	<b>Цвет</b>
<b>1a</b>	<b>98%</b>	<b>Кластеры атомов азота</b>	<b>Бесцветные, желтые</b>
<b>1b</b>	<b>0,1%</b> <b>НРНТ алмазы</b>	<b>Разрозненные атомы азота</b>	<b>Желтые, оранжевый, коричневые</b>
<b>2a</b>	<b>1 - 2%</b> <b>CVD алмазы</b>	<b>Практически чистый углерод</b>	<b>Бесцветные, желтые, коричневые, розовые, пурпурные</b>
<b>2b</b>	<b>0,1%</b>	<b>Атомы бора</b>	<b>Голубые, серые</b>

# ЦВЕТНЫЕ АЛМАЗЫ



**В центре** бесцветный бриллиант Millennium Star (203.04 к)

**Слева направо:**

Steinmetz Pink (Розовый бриллиант Штаймеца 59.60 карат),

Heart of Eternity (Сердце вечности 27 карат),

Pumpkin Diamond (Тыквенный бриллиант 5.54 карата),

Moussaieff Red (5.11 карат),

Ocean Dream,

Allnatt (101.29 карат)



42.5-каратный бриллиант «Хоуп»

# ПРИМЕНЕНИЕ АЛМАЗОВ



Около 20-25% добываемых камней приходится на долю ювелирных алмазов, а основная масса – это так называемые технические алмазы.

# ПРИРОДНЫЕ АЛМАЗЫ



В природе встречаются месторождения алмазов двух типов: **россыпные месторождения и кимберлитовые трубки (+импактные алмазы).**

В настоящее время более 75 % алмазов добывается в кимберлитовых трубках. Рентабельными считаются те месторождения, в которых содержание алмазов составляет более 0.5 карат на 1 тонну породы (1 карат = 0.2г). Подавляющая часть добываемых алмазов имеет размер от 0.1 до 5 мм и массу менее 1 карата.

Кимберлитовая трубка «Удачная» в Якутии

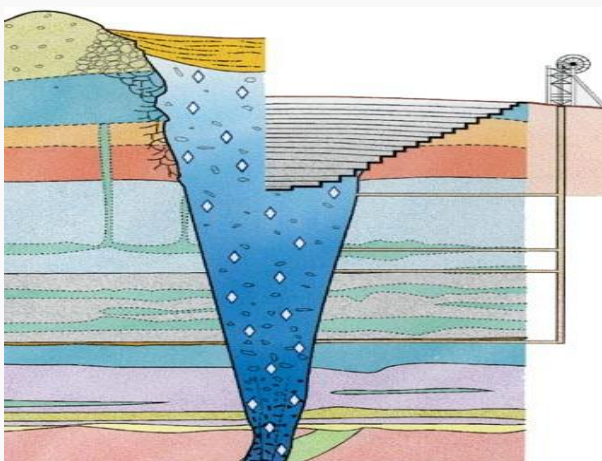
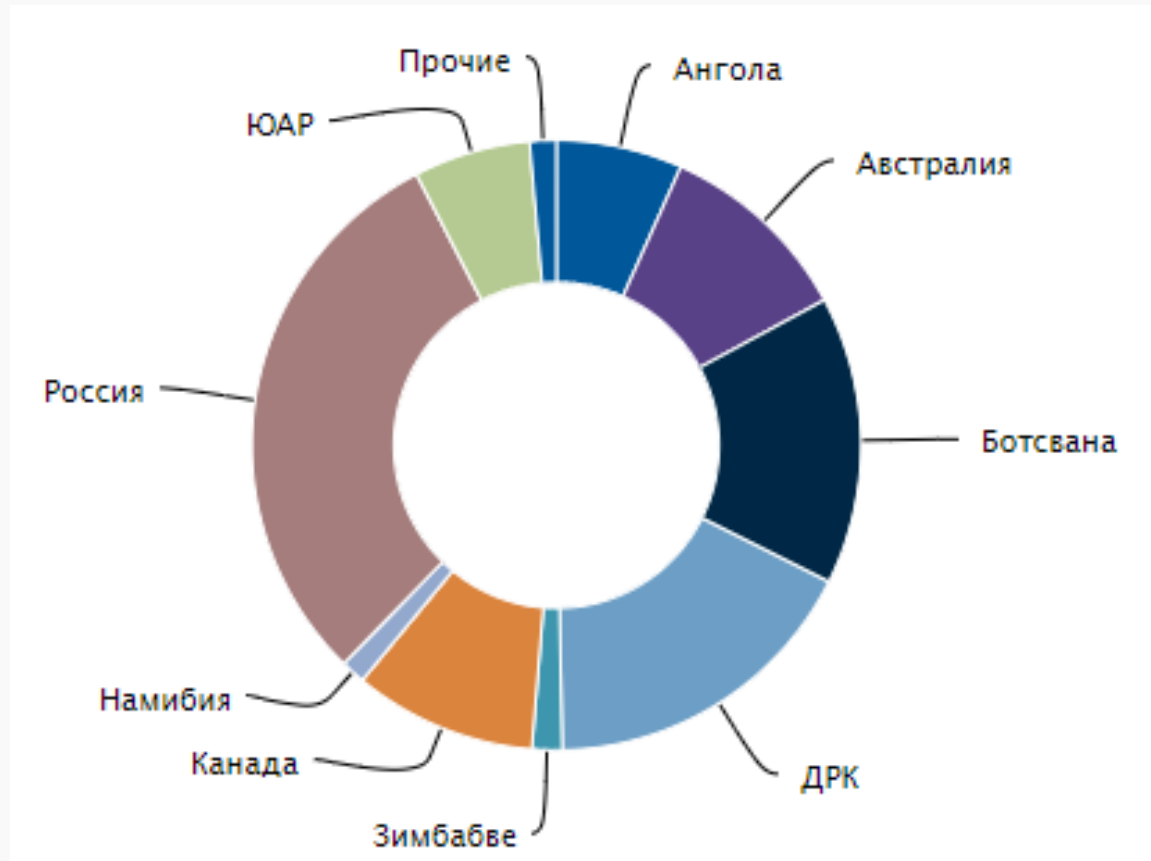


Схема кимберлитовой трубки





# МИРОВАЯ ДОБЫЧА АЛМАЗОВ



## Страны-лидеры мировой алмазодобычи

Данные на 2016 г., 134,1 млн. карат

Россия – 30,1%

Конго – 17,3%

Ботсвана – 15,3%

Австралия – 10,4%

Канада – 9,7%

Ангола – 6,7%

ЮАР – 6,2%

# КОМПАНИИ – ЛИДЕРЫ АЛМАЗОДОБЫЧИ

## Компания

## Страна деятельности

**«АЛРОСА»**

**Россия, Ангола, Ботсвана (ГРР), Зимбабве (ГРР)**

**De Beers**

**Ботсвана, ЮАР, Намибия, Канада**

**Rio Tinto**

**Австралия, Канада**

**Dominion Diamond**

**Канада**

**Petra Diamonds**

**ЮАР, Танзания, Ботсвана (ГРР)**

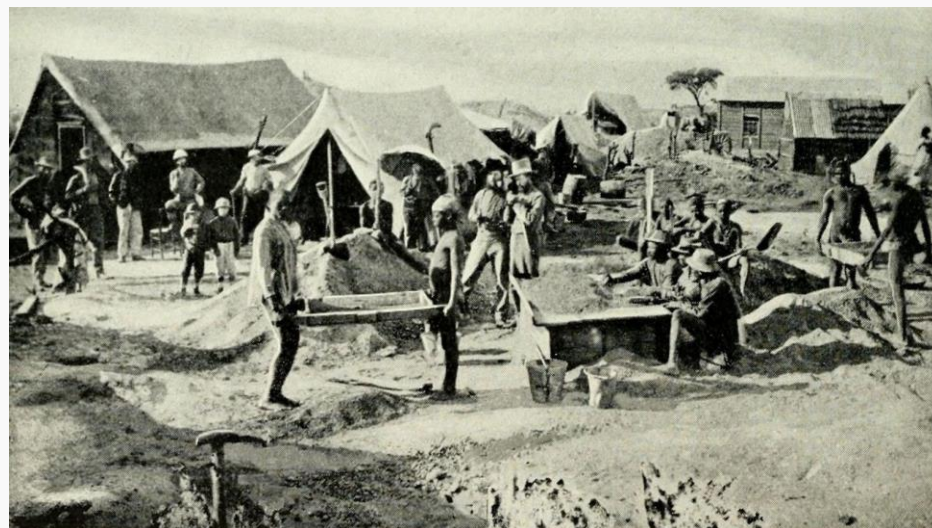
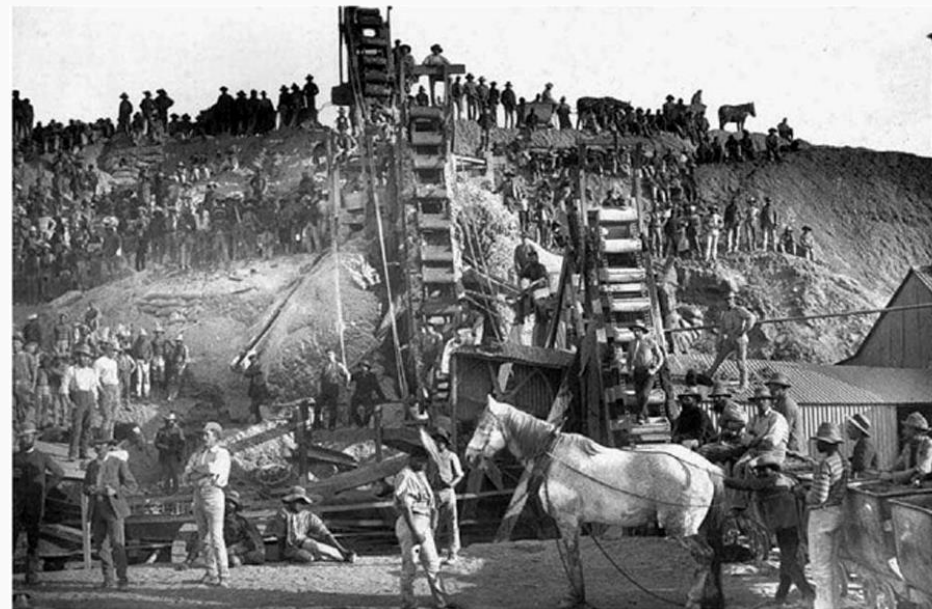
# СПИСОК РУДНИКОВ «АЛРОСА»

- «Айхал»
- «Ботуобинская»
- «Нюрбинская» (4.25 карат на 1т)
- «Интернациональная» (8 карат на 1т)
- «Мир»
- «Комсомольская»
- «Удачная»
- «Зарница»
- «Юбилейная»
- «Молодо»
- «Архангельская»
- «Им. Карпинского-1»



# ИСТОРИЯ ДОБЫЧИ АЛМАЗОВ

- Первые алмазные россыпи были найдены в Индии несколько тысячелетий назад.
- К началу 18 века запасы индийских россыпей заметно истощились.
- В 1725 г. в были открыты бразильские алмазные россыпи («алмазная лихорадка»).
- В 1829 г. крепостной Павел Попов нашел первый алмаз на одном из уральских золотых приисков.
- С 1867 г. началась история добычи алмазов в Африке (рядом с р. Оранжевая, расположенной в южной части африканского континента, был найден камень массой в 21 карат).
- Открытие и разработка кимберлитовых трубок. Создание компании DeBeers.
- В 1871-1914 гг. в ЮАР добыли примерно 2,722 тонны алмазов (14,5 млн карат).





# АЛМАЗЫ РОССИИ

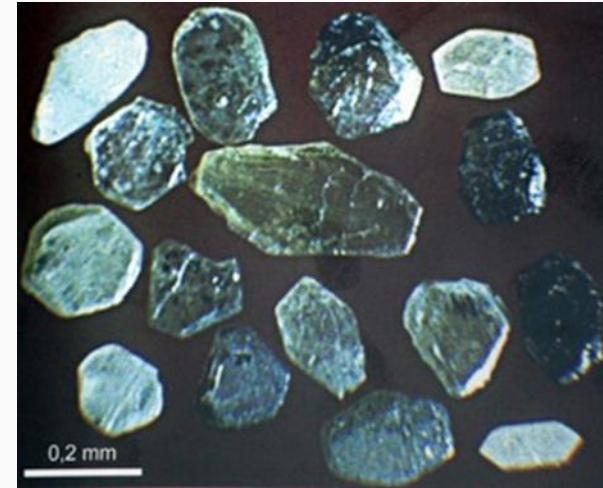
## «Закурили трубку мира, табак отличный»

- В 1829 г. крепостной Павел Попов нашел первый алмаз на одном из уральских золотых приисков.
- Конец 1930гг – исследования географа Владимира Соболева о геологическом сходстве Южной Африки и Сибирской платформы.
- В 1954 г. Ларисой Попугаевой было открыто первое коренное месторождение СССР «Зарница».
- 1955 г. Открыты кимберлитовые трубки «Мир», «Удачная» (Елагина).
- 1957 г. Создан трест «Якуталмаз». Обогащительная фабрика № 1 дала первые промышленные алмазы.



# ПОПИГАЙСКИЕ АЛМАЗЫ

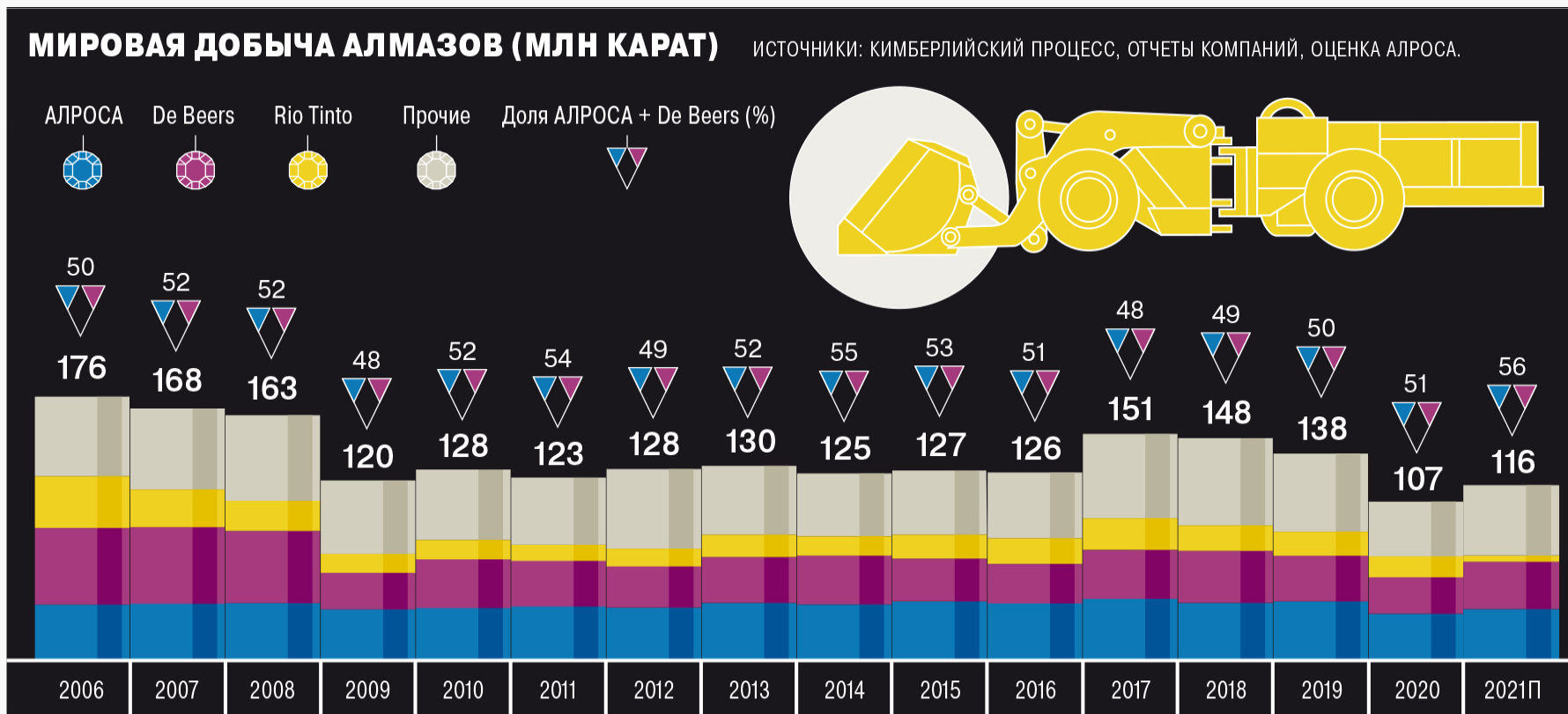
**Попигайская** астроблема – это гигантский кратер диаметром около 100 км на севере Красноярского края. Особенностью месторождения является высокое содержание графита в породах в месте удара и как следствие высокое содержание импактных алмазов, значительно превышающее мировые запасы обычных, кимберлитовых алмазов. Содержание алмазов в руде достигает 23 кар/т, но алмазов ювелирного качества здесь нет.



# МИРОВАЯ ДОБЫЧА АЛМАЗОВ

2019г. – 138 млн карат; 2021г. – 116 млн карат.

Средняя стоимость добытых алмазов ~ 97 \$ за карат





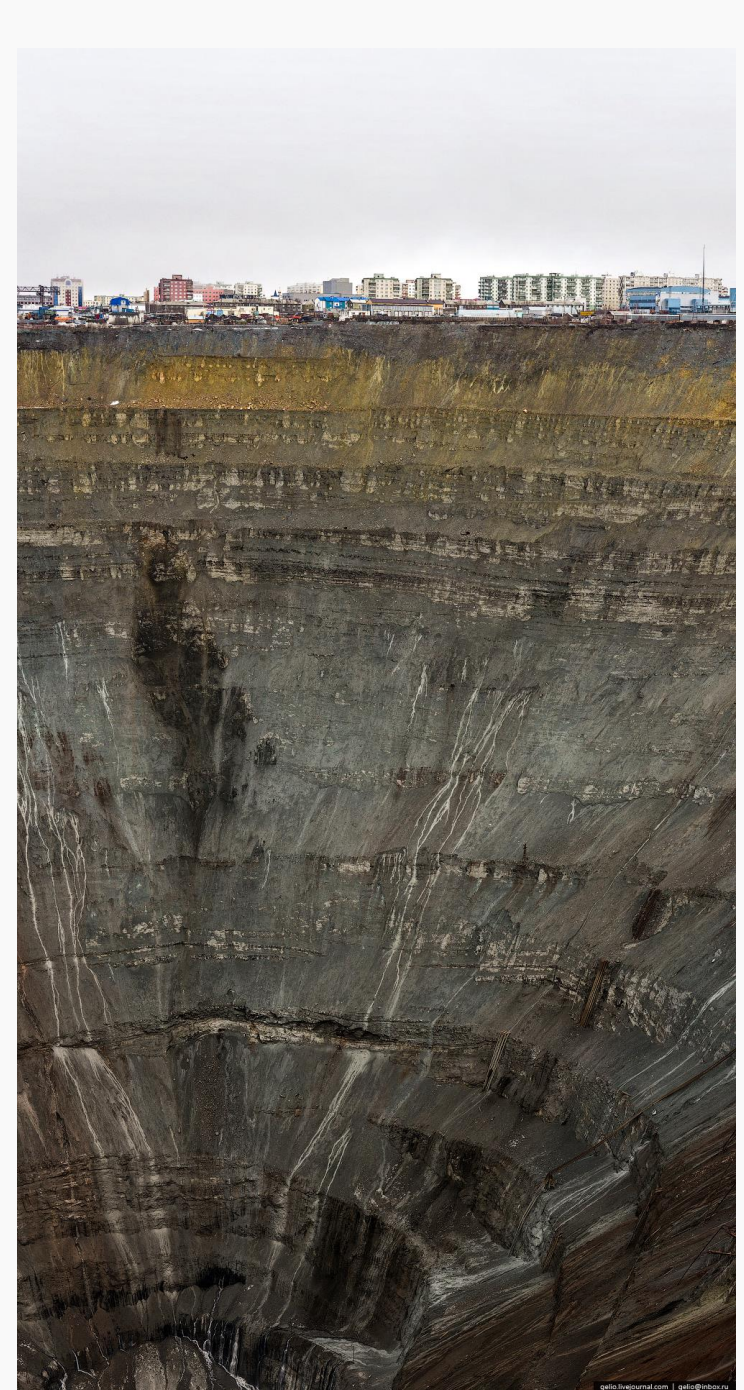
# ДОБЫЧА АЛМАЗОВ В РОССИИ КАРЬЕРНАЯ ДОБЫЧА

99% всех природных алмазов России добывается в Якутии

(11 кимберлитовых трубок)



Кимберлитовая трубка "Мир", открытая 13 июня 1955 года  
С 2001 г. карьер законсервирован. С 2009 г. подземная добыча





# КАРЬЕРНЫЕ САМОСВАЛЫ



В кузове такого самосвала порядка 300-400 карат



# ПОДЗЕМНАЯ ДОБЫЧА

Рудники «Интернациональный», «Айхал», «Удачный»



Проходческий комбайн



# ПОДЗЕМНАЯ ДОБЫЧА



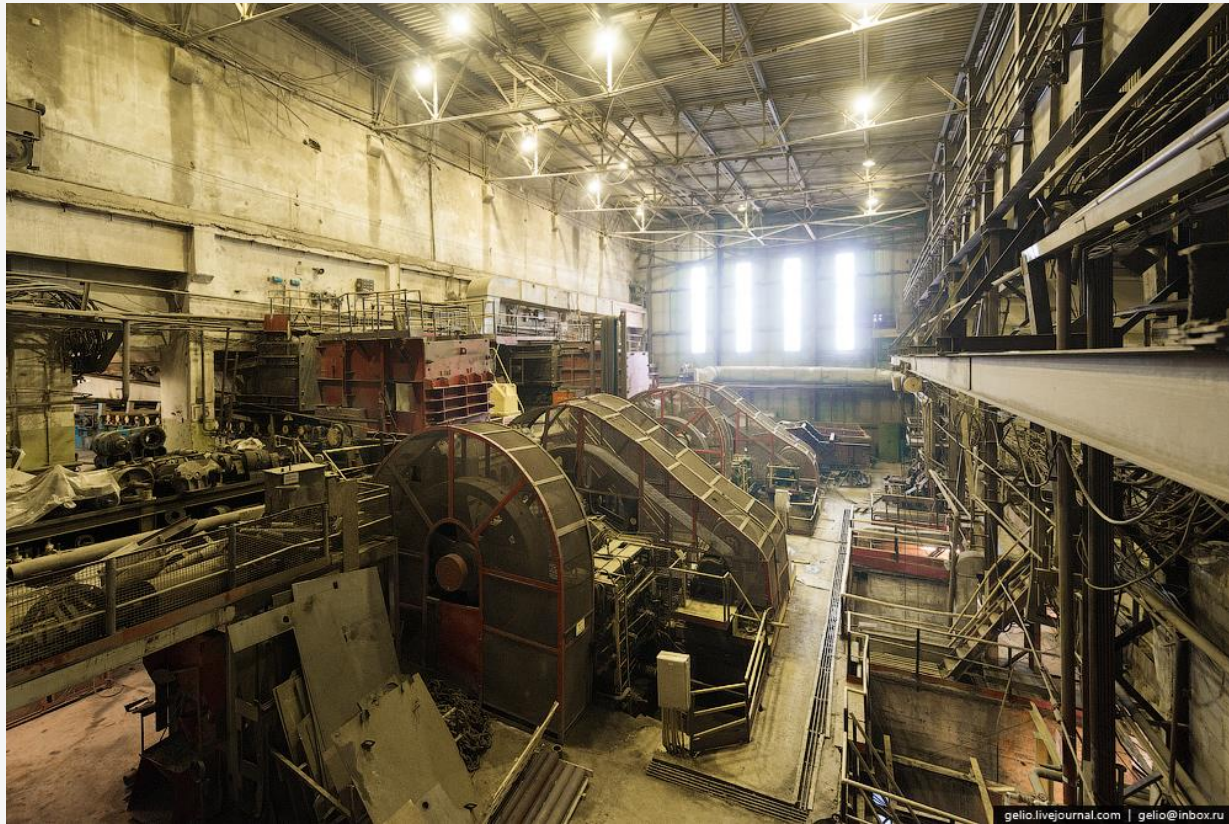
Руда загружается в погрузочно-доставочные машины

## ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЕ КОМБИНАТЫ (ГОК) ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗНОЙ РУДЫ

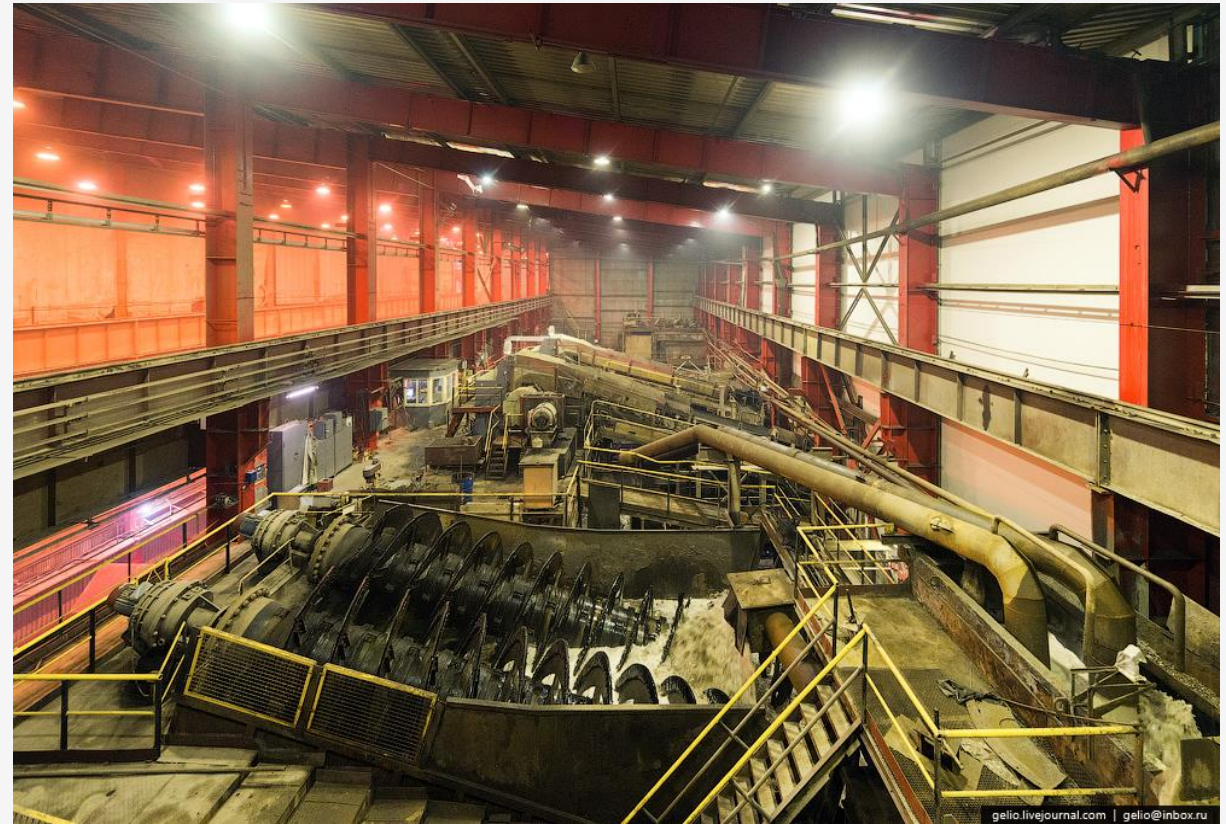
- Крупное дробление породы на шнековых и конусных дробилках до диаметра кусков менее 0.5м
- Мельницы мокрого самоизмельчения до 50мм и выше
- Спиральные классификаторы, руда разделяется по плотности и размеру с помощью потока воды
- Вибросито, сортировка по фракциям, далее каждая фракция перерабатывается отдельно



# ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗНОЙ РУДЫ



Корпус крупного дробления и щековая дробилка



Корпус среднего дробления

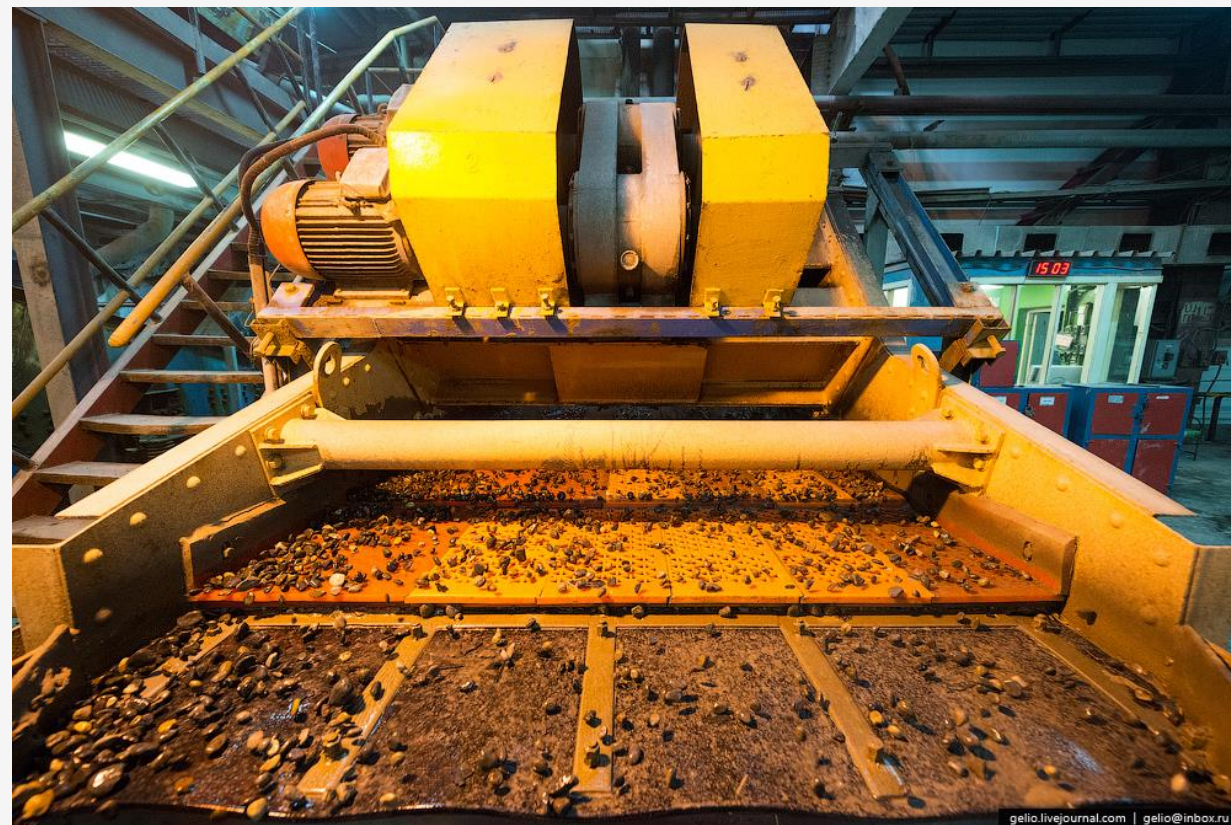
Спиральные классификаторы предназначены для мокрого разделения твердого материала на пески (осадок, размером частиц до 50 мм), и слив, содержащий тонкие взвешенные частицы.



# ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗНОЙ РУДЫ



Мельница мокрого самоизмельчения



Грохот

Спиральные классификаторы предназначены для мокрого разделения твердого материала на пески (осадок, размером частиц до 50 мм), и слив, содержащий тонкие взвешенные частицы.



# ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗНОЙ РУДЫ

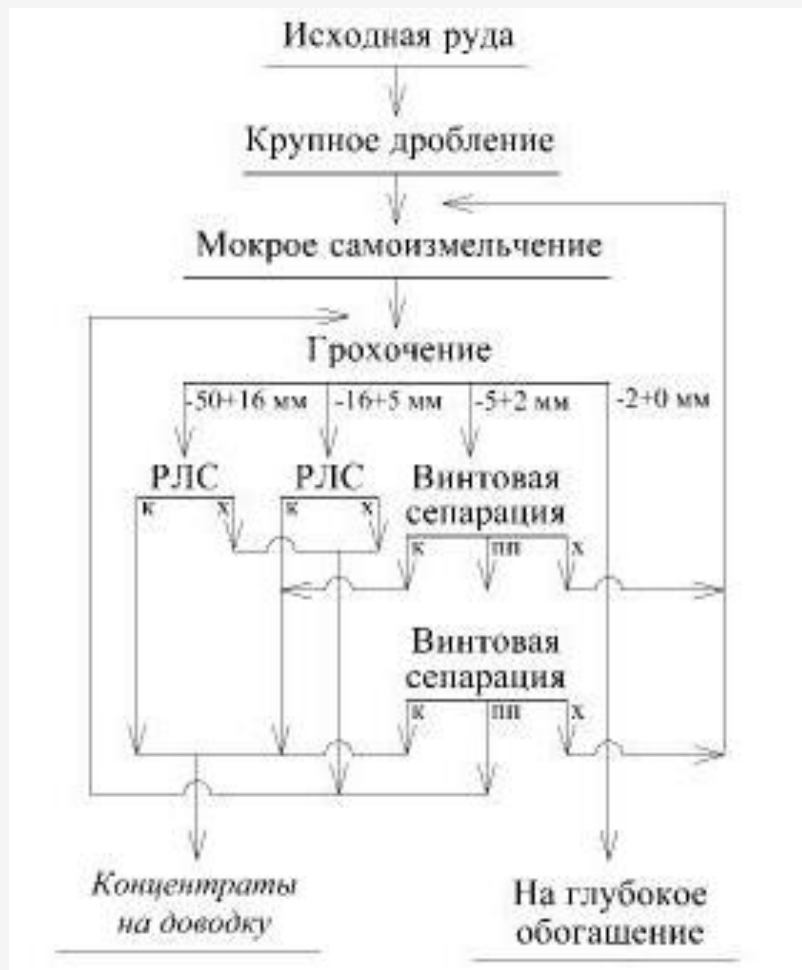


Схема предварительного обогащения кимберлитов трубки «Мир»

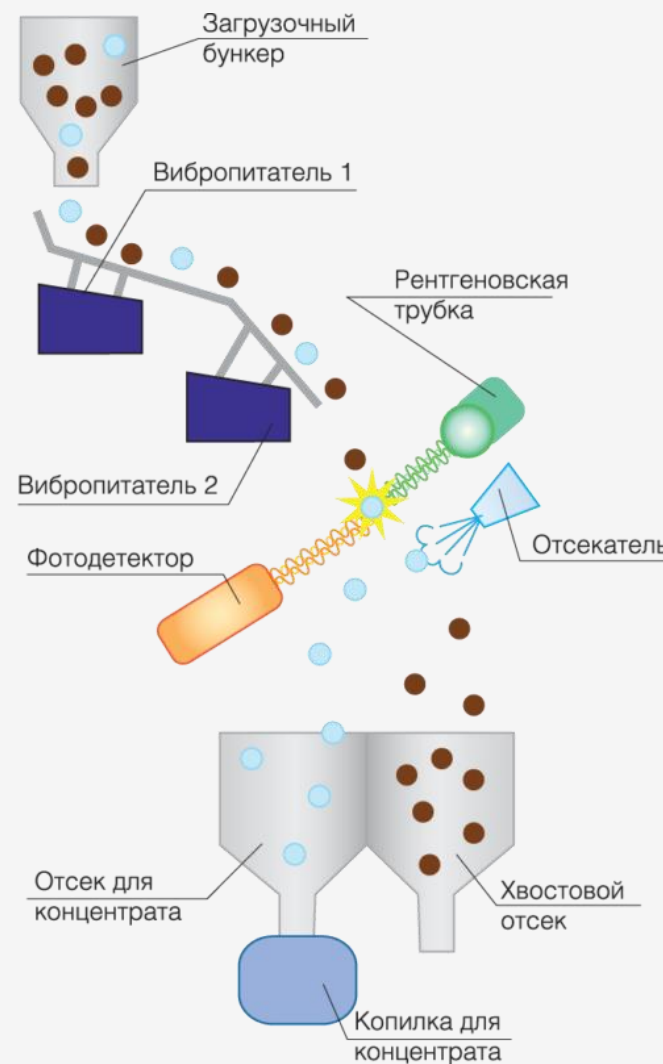


Схема рентгенолюминесцентной сепарации

# ТЕХНОЛОГИЯ ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗНОЙ РУДЫ



Мелкопереработанная порода отправляется на винтовые сепараторы, где все сырьё разделяется в зависимости от его плотности



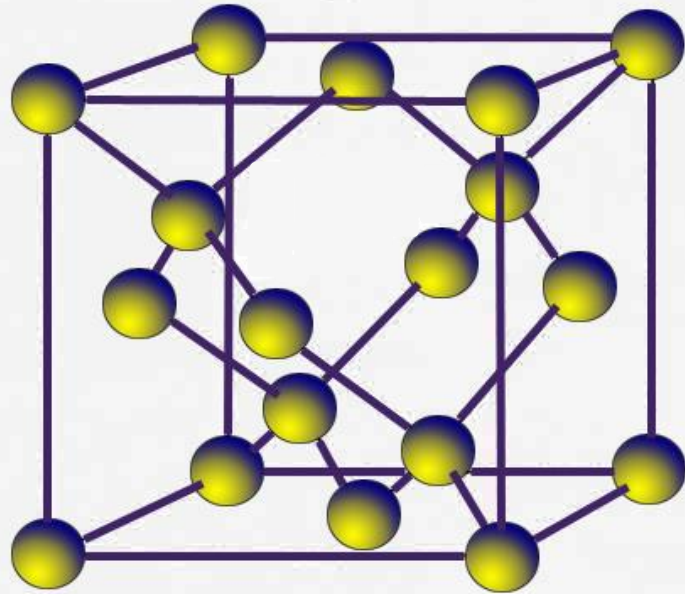
Мелкий материал вместе с добавлением водных реагентов поступает в пневмофлотационную машину, где кристаллы мелких классов прилипают к пузырькам пены и направляются на доводку. На пневмофлотационной машине извлекают самые мелкие алмазы - от 2-х и менее мм.



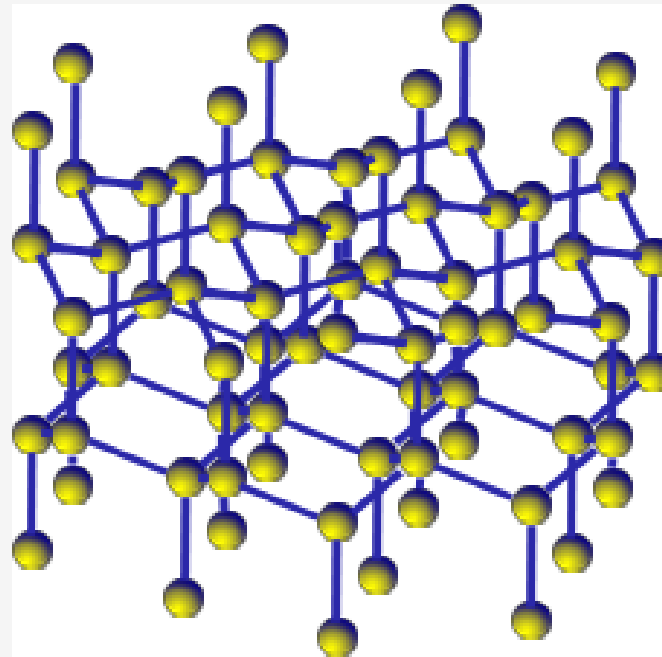
# СОРТИРОВКА АЛМАЗОВ



# ЛОНСДЕЙЛИТ



Обычный алмаз (кубическая решетка)



Лонсдейлит (гексагональная решетка)

Твердость лонсдейлита по шкале Мооса 7-8 единиц, цвет желтовато-коричневый.

В природе лонсдейлит обнаруживается в метеоритных остатках. Предположительно лонсдейлит образуется в момент столкновения метеорита с земной поверхностью из графита, входящего в состав метеорита.

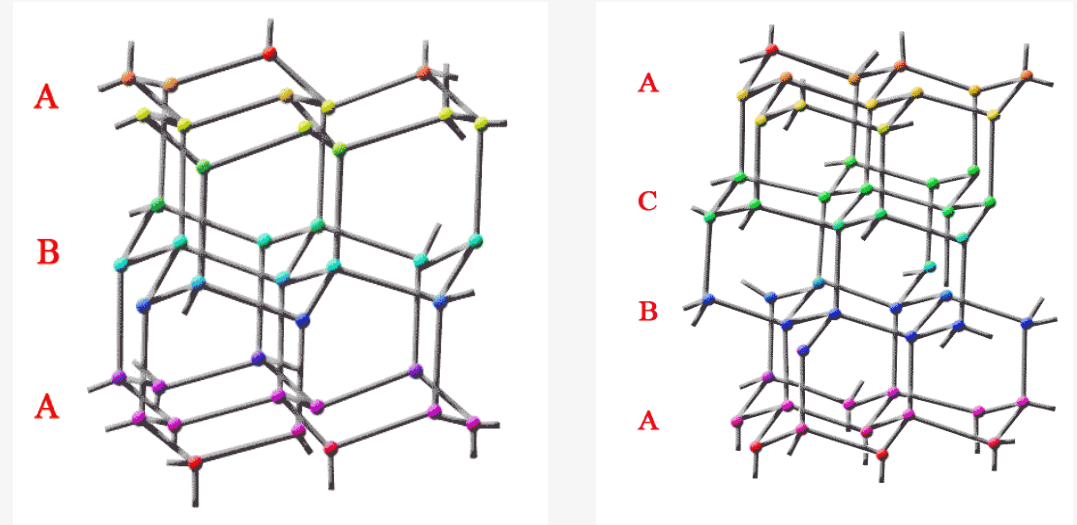
Лонсдейлит был назван в честь английского кристаллографа Кэтлин Лонсдейл.

# ЛОНСДЕЙЛИТ

Лонсдейлит был назван в честь английского кристаллографа Кэтлин Лонсдейл.

Твердость лонсдейлита по шкале Мооса 7-8 единиц, цвет желтовато-коричневый. В природе лонсдейлит обнаруживается в метеоритных остатках. Предположительно лонсдейлит образуется в момент столкновения метеорита с земной поверхностью из графита, входящего в состав метеорита.

Кристаллические решетки лонсдейлита и алмаза отличаются способом упаковки. Для лонсдейлита характерна двухслойная упаковка типа (АВ АВ...), где каждый последующий тетраэдрический слой повернут на  $60^\circ$  по отношению к предыдущему. Для алмаза - трехслойная типа (АВС АВС...), где все слои построены из одинаковых координационных тетраэдров.



Кристаллические решетки лонсдейлита и алмаза

$sp^3$ -гибридизация

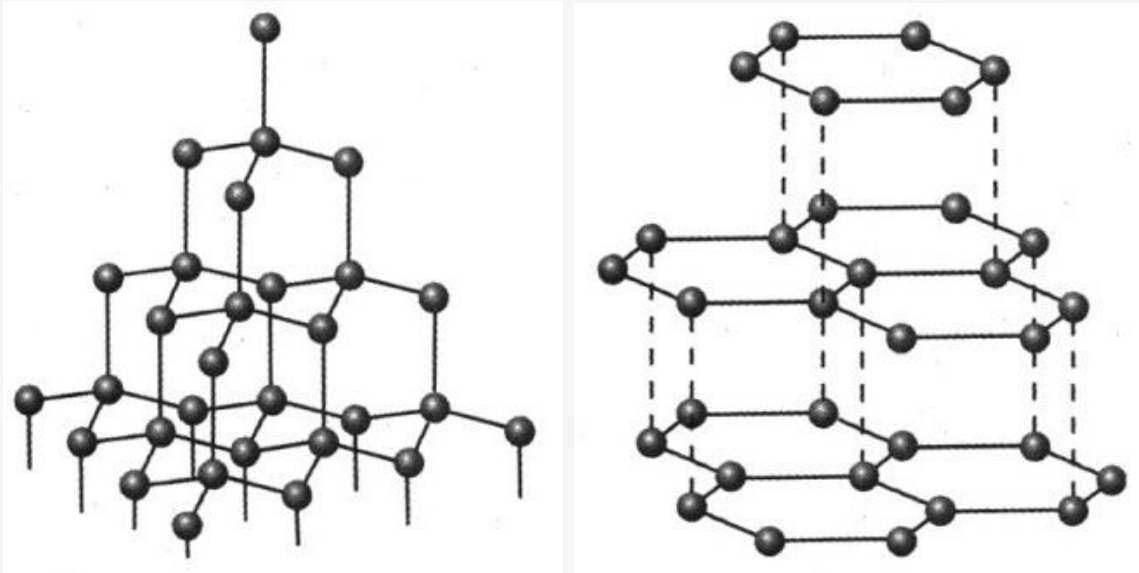
# ПУТЬ К СИНТЕЗУ АЛМАЗА

- Лавуазье, Теннант, Дэви – алмаз и графит содержат чистый углерод
- 1880г «Искусственные алмазы Ханнея»
- Муассан, мгновенное охлаждение перенасыщенного углеродом чугуна, кристаллы 3.35г/см<sup>3</sup>
- Парсонс (гидравлические прессы, давление 10 тыс.ат)



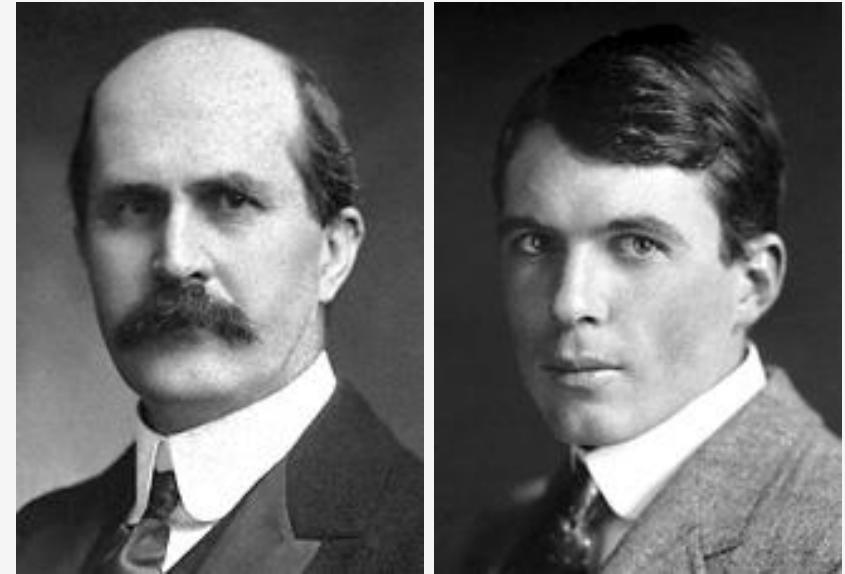
# ПУТЬ К СИНТЕЗУ АЛМАЗА

## СТРУКТУРА АЛМАЗА И ГРАФИТ



1913 г. – рентгенограмма алмаза

1915 г. – рентгенограмма графита



Уильям Генри Брэгг и Уильям Лоренс Брэгг

Нобелевская премия

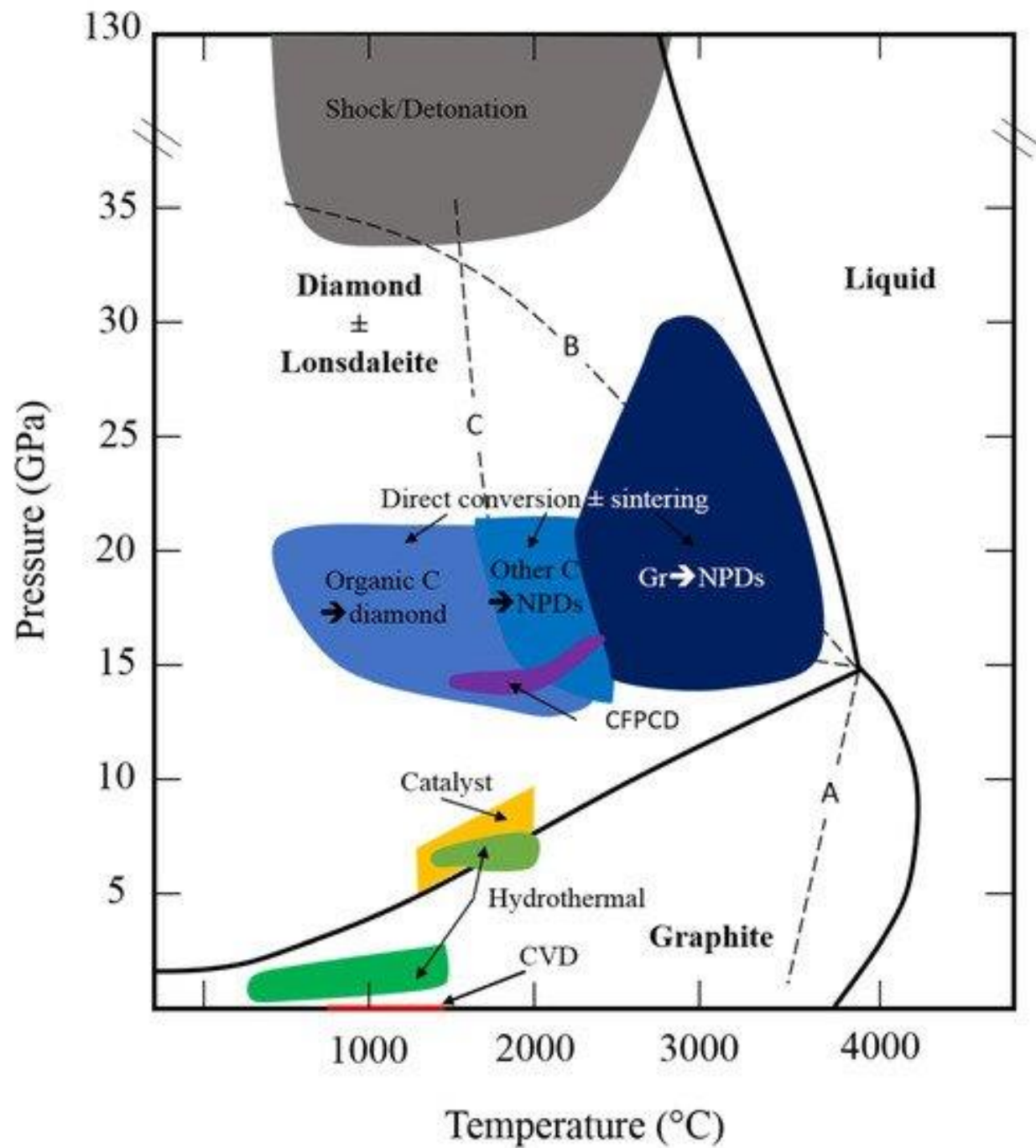
# ПУТЬ К СИНТЕЗУ АЛМАЗА



А.И.Лейпунский.

Успехи химии. 1

1939. 8. С.1519-1534.



# ПЕРВЫЕ ИСКУССТВЕННЫЕ АЛМАЗЫ



15 февраля 1953 года, Эрик Лундблад,  
Всеобщая шведская электрическая компания



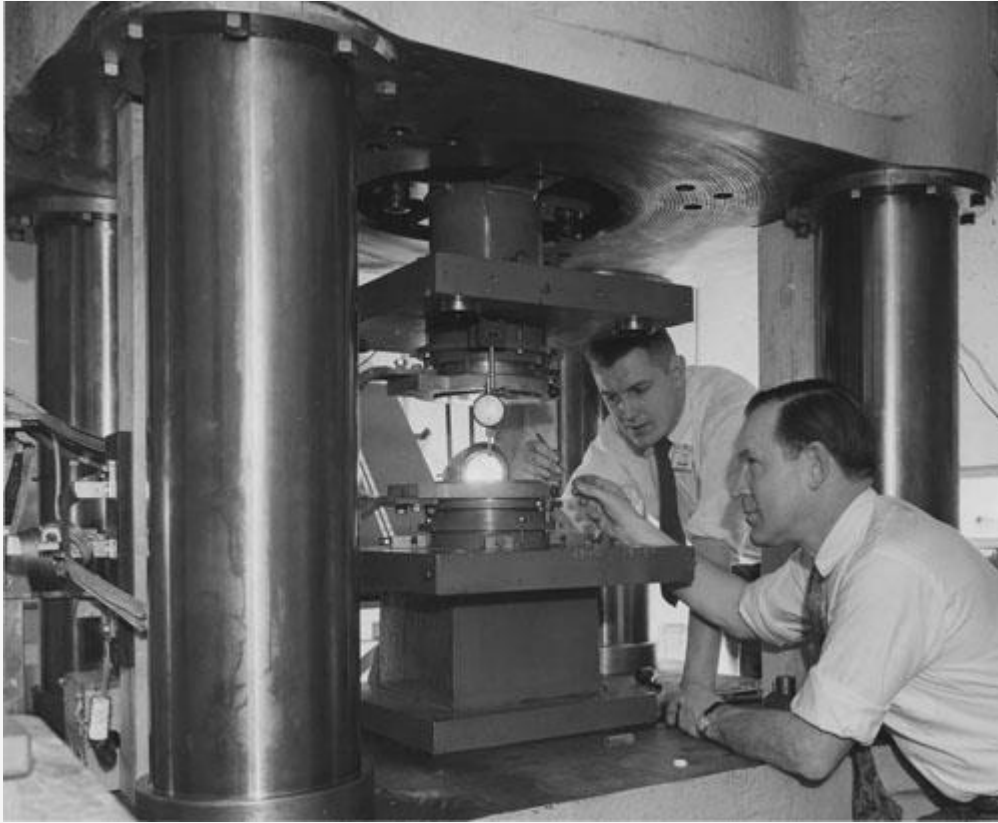
Рабочая камера



Первые алмазы



# ПЕРВЫЕ ИСКУССТВЕННЫЕ АЛМАЗЫ

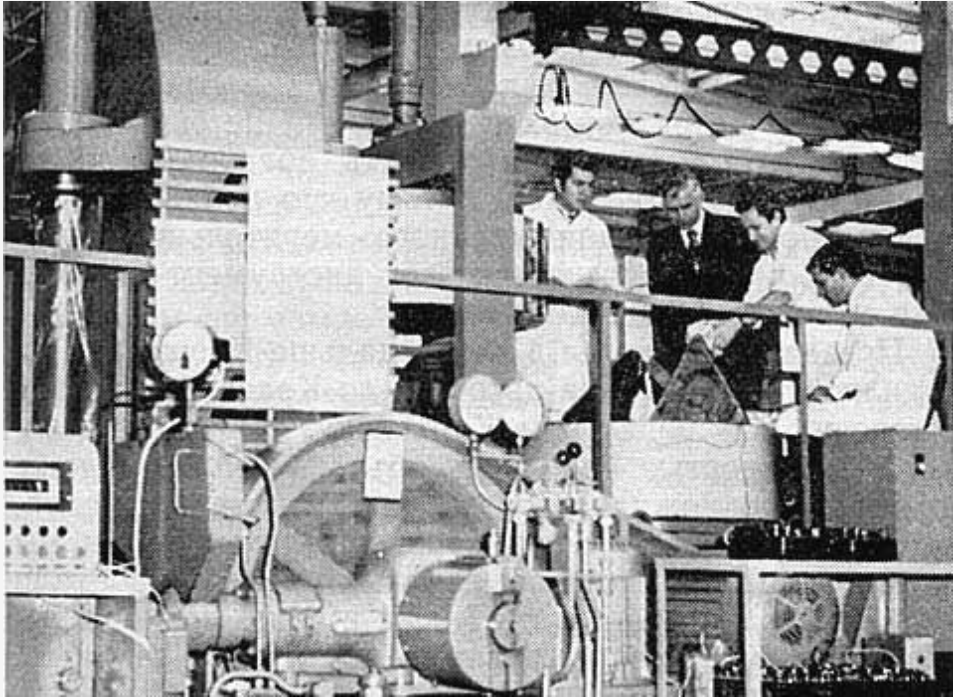


Компания «General Electric»  
Синтез алмазов был осуществлен Трейси Холлом  
16 декабря 1954 года в аппарате высокого  
давления «belt» при 70000атм и 1600°С

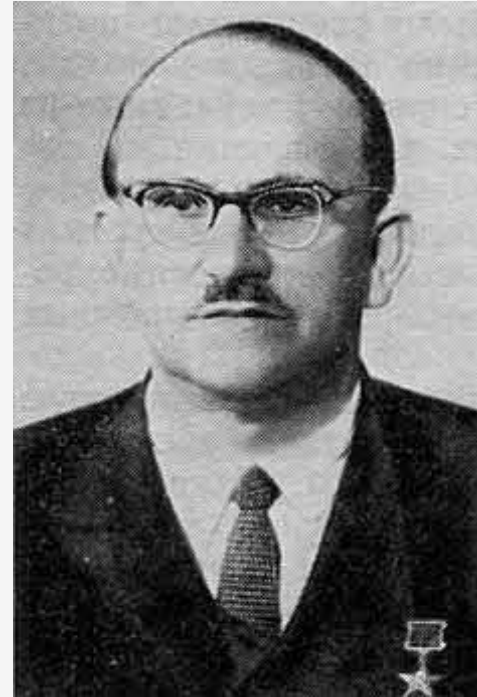


1000-тонный пресс для синтеза алмазов  
(лаборатория "Дженерал электрик"  
1955г.)

# ПЕРВЫЕ СОВЕТСКИЕ АЛМАЗЫ (1958 Г.)



В лаборатории синтеза алмазов

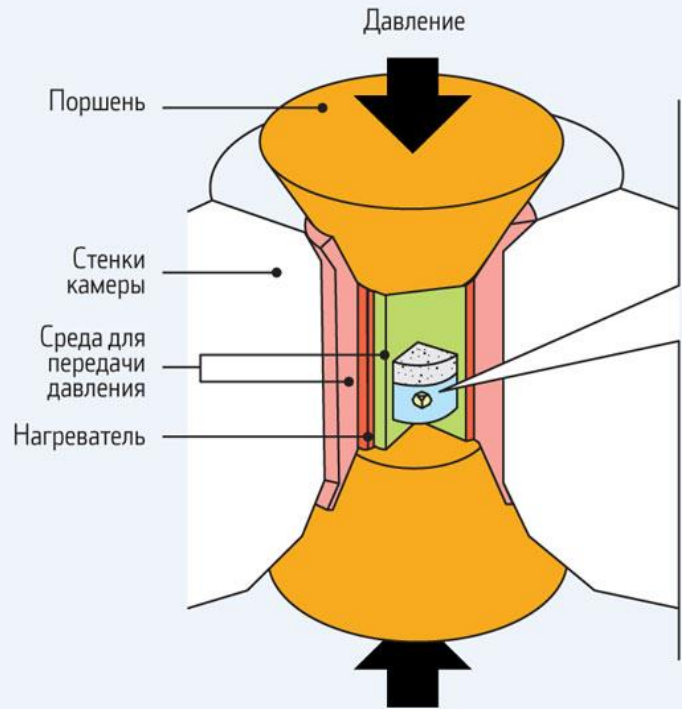


В.Н. Бакуль

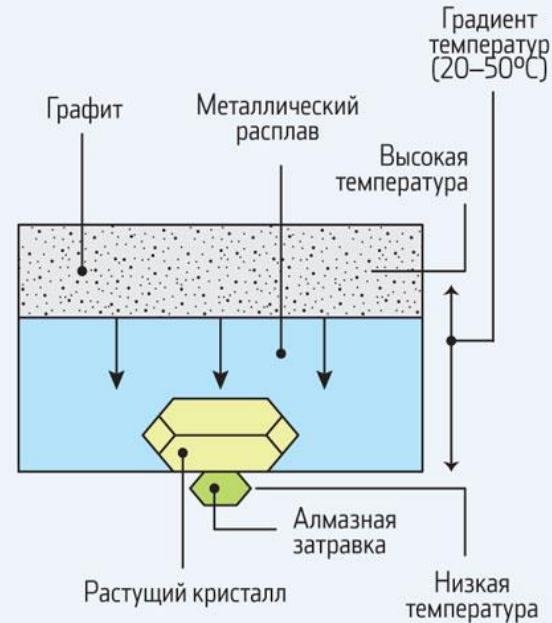


Л.Ф. Верещагин

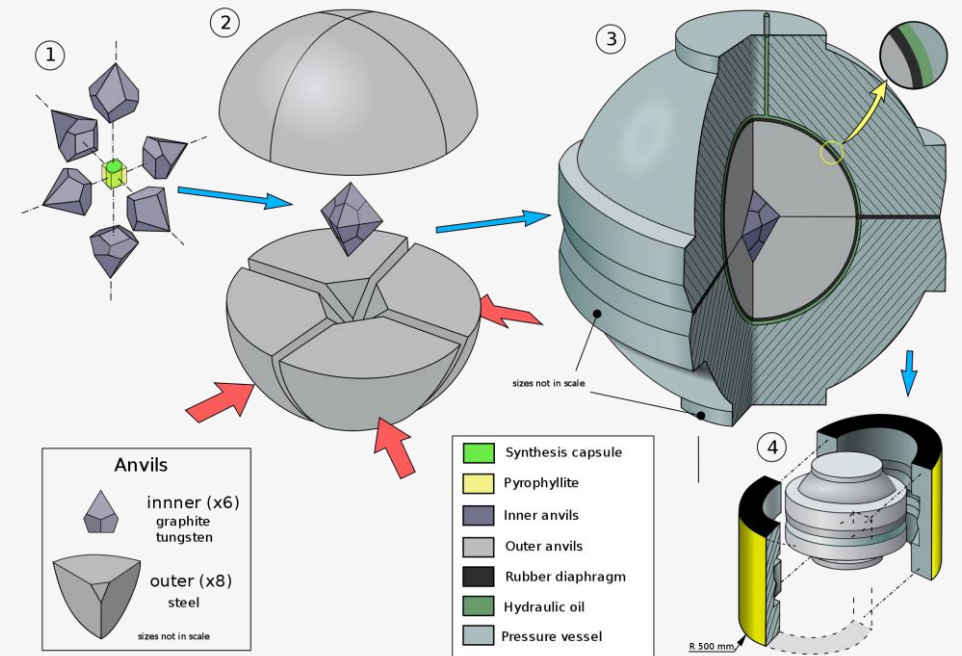
# СИНТЕЗ АЛМАЗОВ. МЕТОД НРНТ



Ленточный пресс



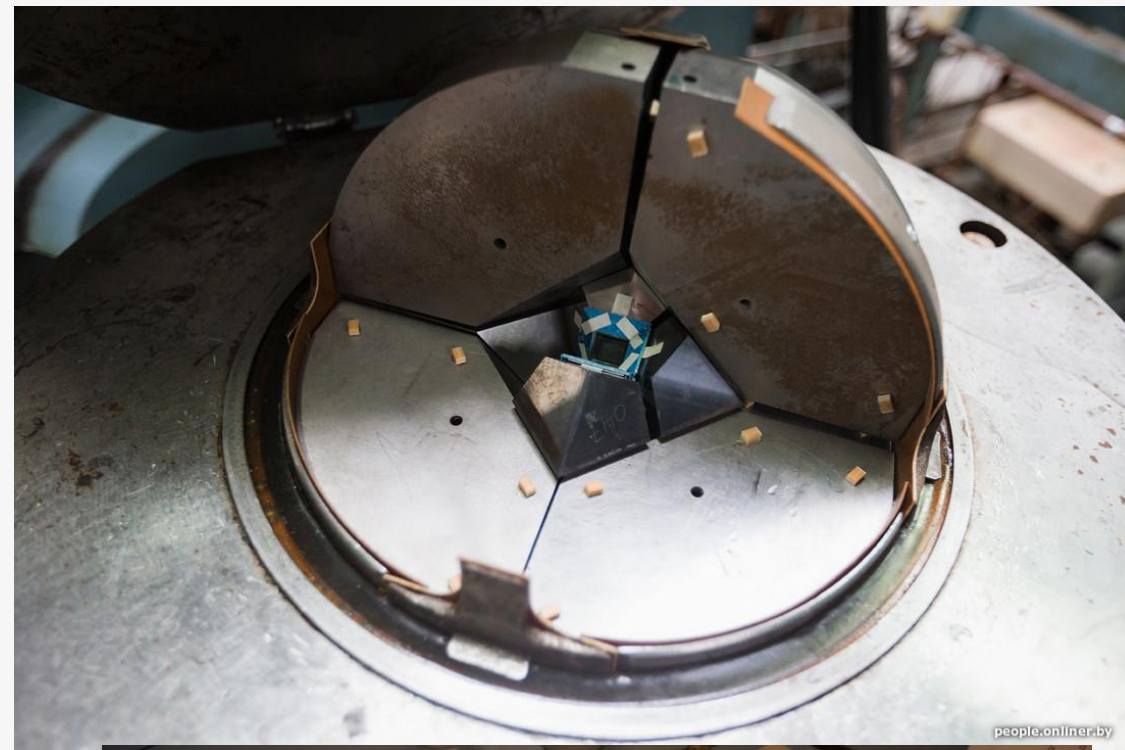
Т около 1500 °С с нужным градиентом  
 Р около 50–70 тыс. атм.  
 Fe, Ni, Co



БАРС (БАРС = Беспрессовая Аппаратура высокого давления «Разрезная Сфера»). Разработан в 1989—1991 гг. учёными из Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева сибирского отделения РАН



# ПРОИЗВОДСТВО НРНТ-АЛМАЗОВ



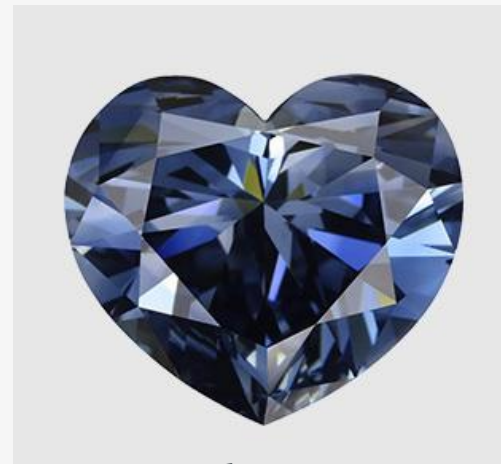
ООО «АдамасИнвест» Белоруссия; 120шт аппаратов БАРС



# ПРОИЗВОДСТВО НРНТ-АЛМАЗОВ ЮВЕЛИРНОГО КАЧЕСТВА



Алмаз-рекордсмен 2015-го года (30 карат), выращенный российской компанией New Diamond Technology



Два самых больших на сегодняшний момент пятикаратных синтетических синих алмаза, правый - выращен российской фирмой NDT



Десятикаратный бриллиант, получившийся из рекордного алмаза компании NDT



# СИНТЕЗ АЛМАЗОВ. МЕТОД НРНТ



Современное оборудование для синтеза алмазов НРНТ методом (компания «De Beers»)



Сборка кубического прессы 850 «Нью Даймонд Технолоджи»

Если бы вы решились купить бриллиант, какой алмаз вы бы предпочли: природный или синтетический?

Что повлияло бы на ваш выбор (экологичность, цена, чистота, цвет и т.д.) ?

# ГАЗОФАЗНЫЙ СИНТЕЗ АЛМАЗА



А.П.Руденко, 1957

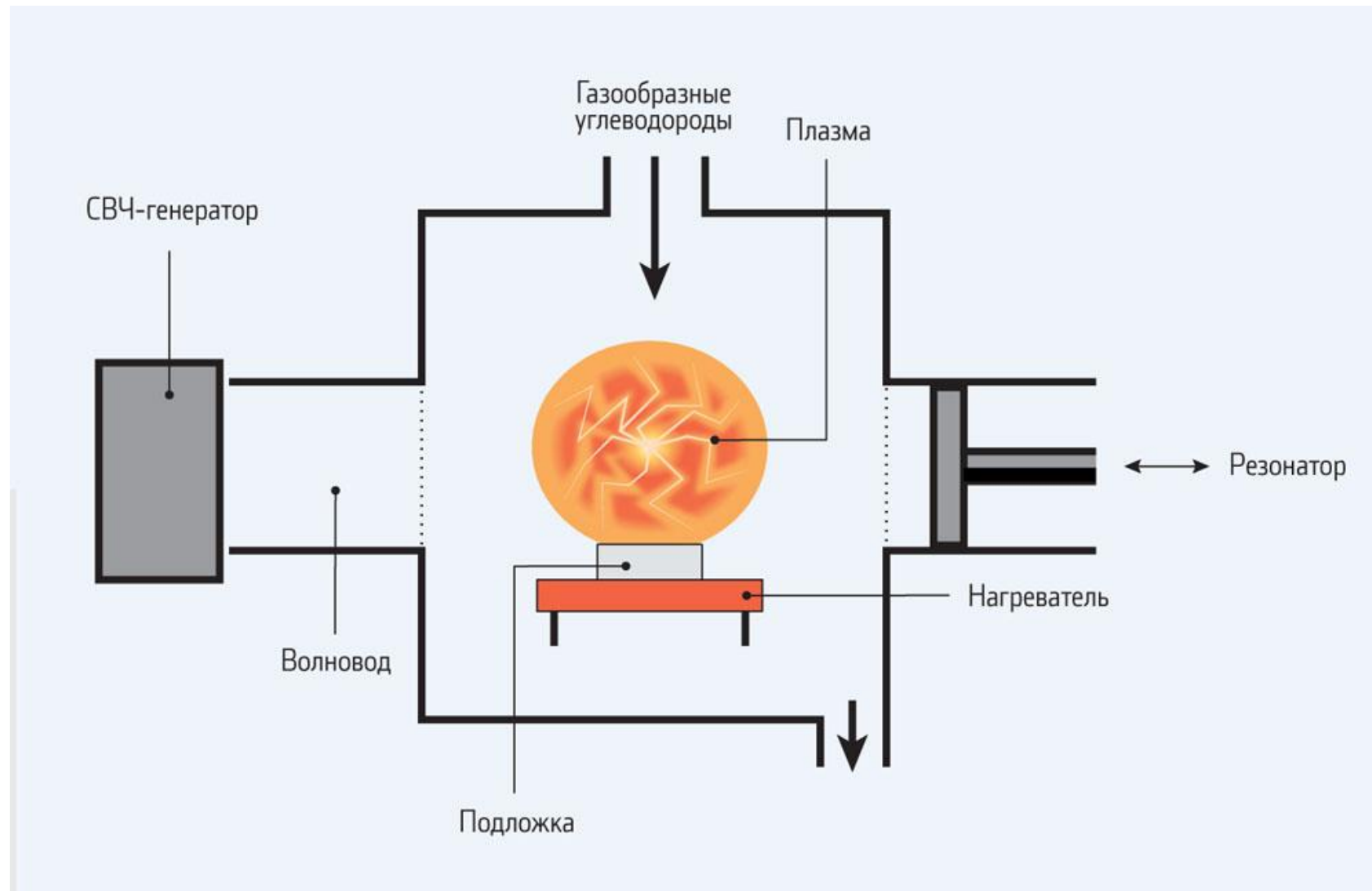
- $2\text{CO} \rightleftharpoons \text{C} + \text{CO}_2$
- $\text{CO} + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{C} + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{C} + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{CH}_3\text{OH} \rightleftharpoons \text{C} + \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2$

А.П.Руденко, И.И.Кулакова, В.Л.Скворцова.

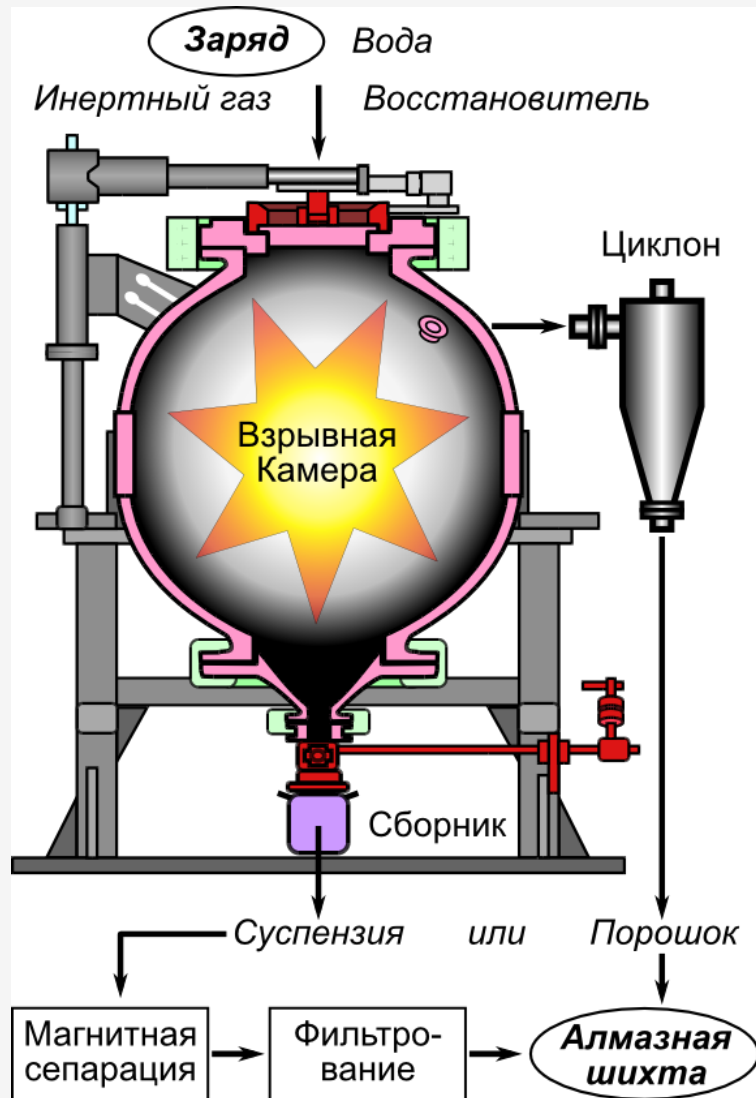
Успехи химии. 1993. **62**. С.99-117



# СИНТЕЗ АЛМАЗОВ. МЕТОД CVD



# ДЕТОНАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ АЛМАЗА



1961 г., П.С. де Карли, Дж.Л. Джемисон –  
сжатие графита в ударной волне взрыва

1986 г., В.И.Лямкин – детонационный синтез  
из тротила с гексогеном

# ЗНАМЕНИТЫЕ БРИЛЛИАНТЫ МИРА

Алмазы массой более сотни карат – величайшая редкость.



Алмаз Куллинан

В 1908 году Куллинан был расколот на несколько кусков, из которых изготовили два очень крупных бриллианта, семь средних бриллиантов и 96 мелких. Самый большой из полученных бриллиантов Куллинан-I (или «Большая звезда Африки», масса 530,2 карата) был украшает скипетр британской королевы, а Куллинан-II — корону Британской империи.



Скипетр и корона Британской империи

Стоимость «Большой звезды Африки» — более 400 миллионов долларов!



# ЗНАМЕНИТЫЕ БРИЛЛИАНТЫ МИРА



Бриллиант **«Золотой юбилей»** на сегодня считается самым крупным ограненным алмазом в мире (масса 545,67 карат), принадлежит королю Таиланда.



**«Орлов»** – чистейший бриллиант белого цвета с синевато-зеленым оттенком – является крупнейшим бриллиантом Алмазного фонда. С 1784 года он украшает Императорский скипетр Екатерины Великой. «Орлов» имеет форму и пропорции половины куриного яйца и огранен в виде индийской розы со 180 гранями (масса 189.62 карат).

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

# СИНТЕТИЧЕСКИЕ (ИСКУССТВЕННЫЕ) АЛМАЗЫ

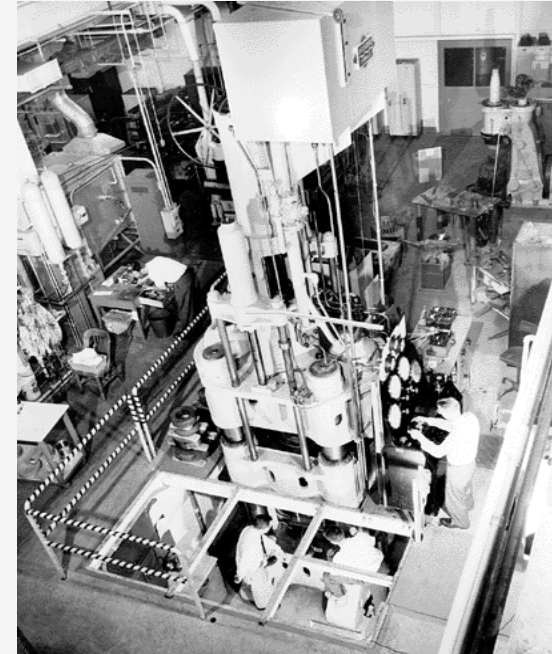
Современное оборудование для синтеза алмазов HPHT методом (компания «De Beers»)



Превращение графита в алмаз происходит путем полиморфного перехода «твердое-твердое» с изменением типа связи  $sp^2$ -  $sp^3$  при давлениях 1.5-6 ГПа и температуре более 1400K

Впервые синтез алмазов был осуществлен Т.Холлом (компания «General Electric») 16 декабря 1954 года в аппарате высокого давления «belt» при 70000 атм и 1600°C

1000-тонный пресс для синтеза алмазов (лаборатория «Дженерал электрик» 1955г.)



## Методы синтеза алмазов

- HPHT метод
- CVD метод
- детонационный синтез