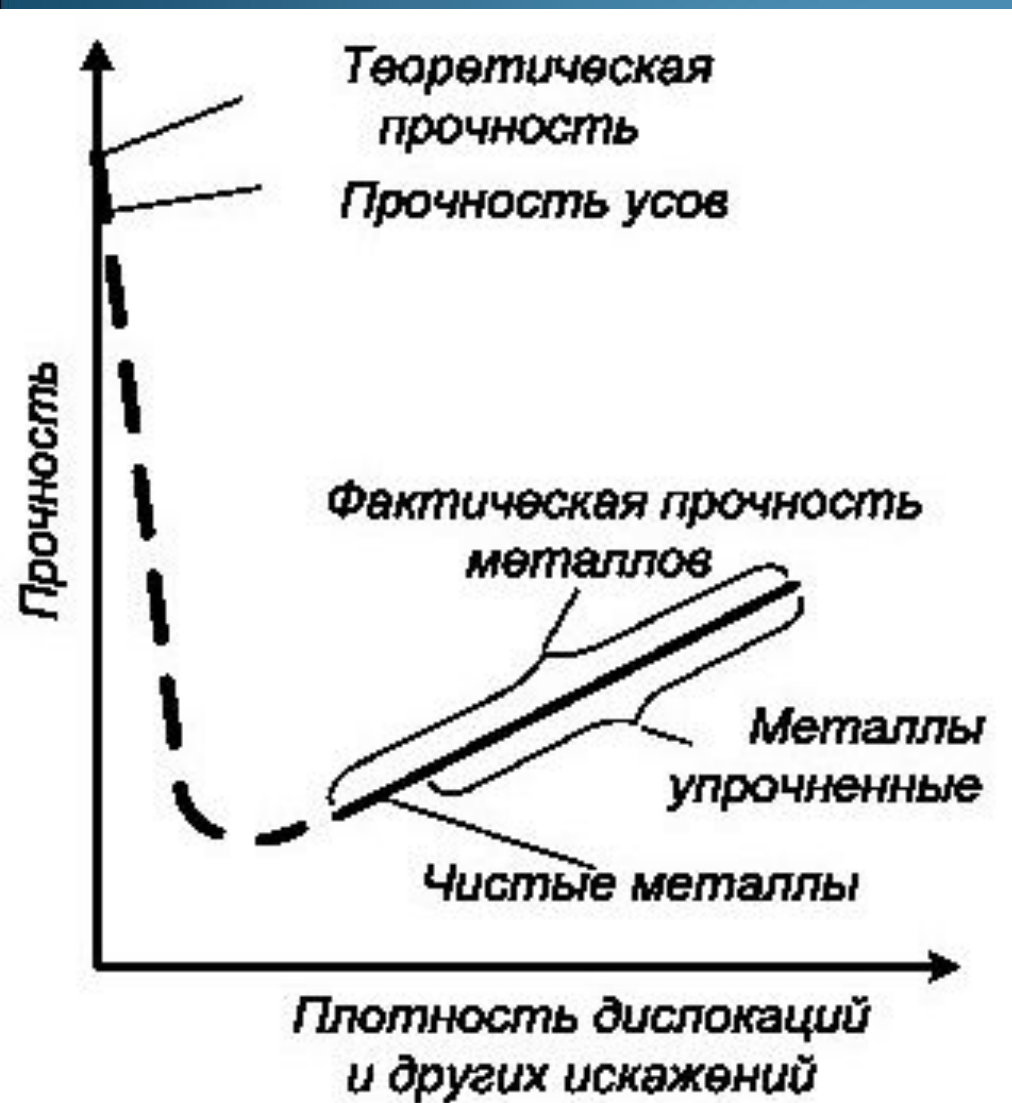


# Увеличение плотности дислокаций



легирование

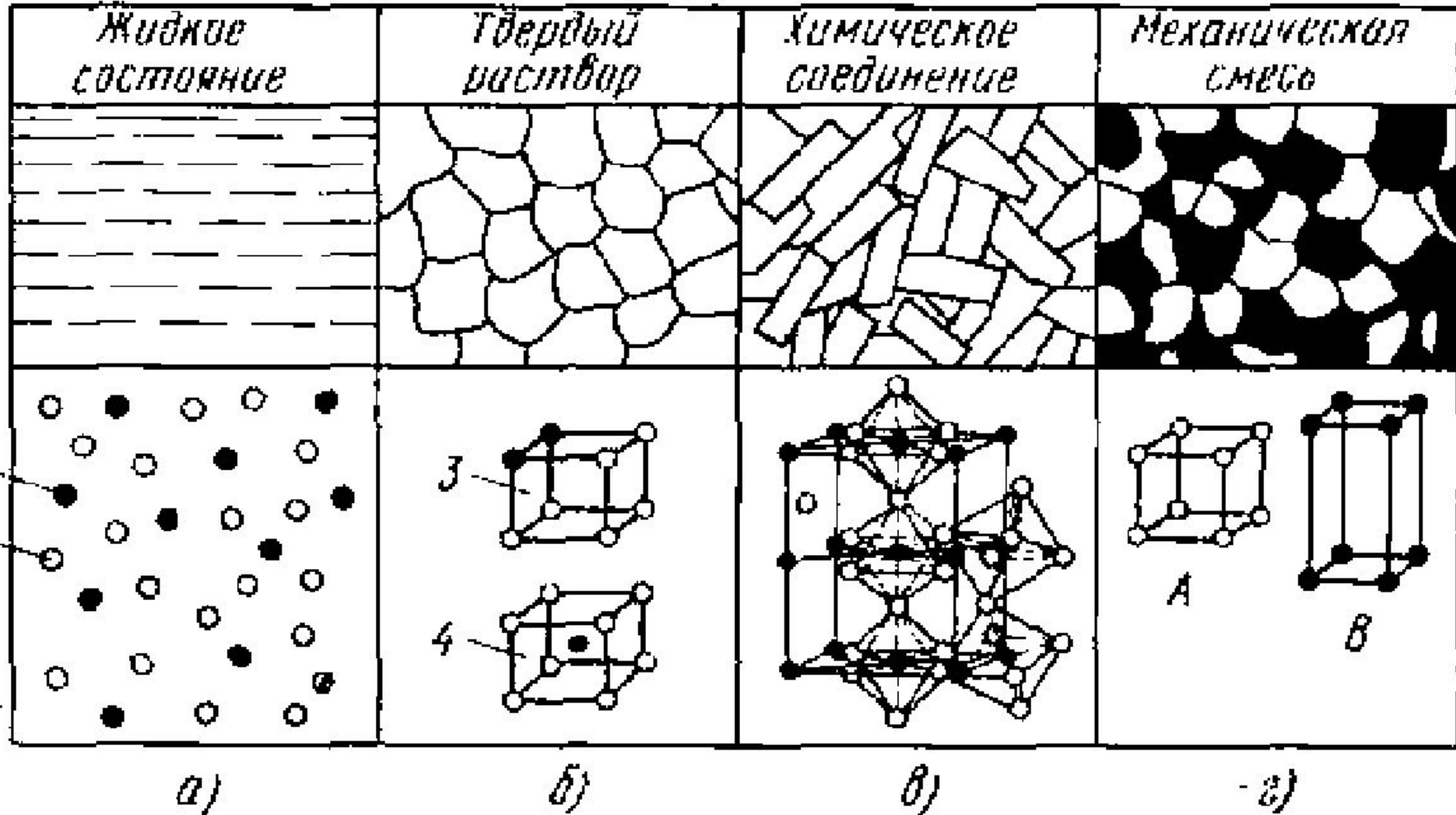
механическая

термическая

# Сплавы - сложные вещества, получаемые сплавлением или спеканием двух или нескольких простых веществ.

- **Компонентами** называют вещества, образующие систему. В зависимости от физико-химического взаимодействия компонентов в сплавах образуются фазы, число и тип которых характеризует состояние сплава. Чистый металл представляет собой однокомпонентную систему, сплав двух металлов - двухкомпонентную систему и т. д.
- Компонентами могут быть металлы и неметаллы, а также химические соединения.
- **Фазой** называют однородную часть сплава, имеющую одинаковый состав одно и то же агрегатное состояние и отделенную от остальных частей сплава поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура вещества изменяются скачкообразно.
- Совокупность фаз, находящихся в равновесии при определенных внешних условиях (давлении, температуре), называют **системой**.

# Виды взаимодействия компонентов в системе



# Твердые растворы – фазы, в которых атомы одного компонента располагаются в кристаллической решетке другого (растворителя). Имеют переменный состав и решетку растворителя.

с неограниченной растворимостью

с ограниченной растворимостью

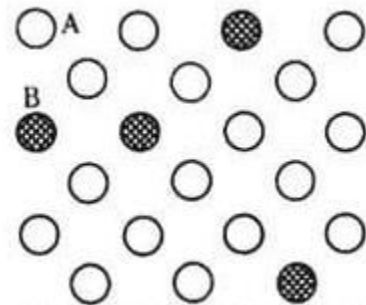
Условия неограниченной растворимости:

- $\frac{R_B - R_A}{R_A} < 7...8\%$

- решетки компонентов А и В одинаковы

$$\frac{R_B - R_A}{R_A} = 8...15\%$$

Если  $\frac{R_B - R_A}{R_A} > 15\%$ , то вещества нерастворимы

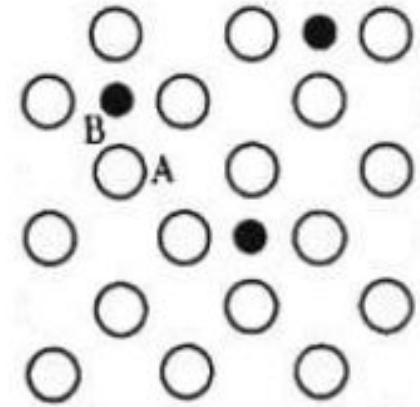


## Твердые растворы внедрения

Условие растворимости:

$$R_B \leq 0,59R_A$$

$$R_{\text{поры ГЦК}} \leq 0,41R_A, \quad R_{\text{поры ОЦК}} \leq 0,29R_A$$



Обозначаются твёрдые растворы либо греческими буквами алфавита:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ..., либо:  $A(B)$ , где  $A$  - растворитель,  $B$  - растворенный компонент.

Например:

$\text{Fe}\alpha(\text{C})$  – твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе - феррит.

# Промежуточные фазы

- Промежуточная фаза, в отличие от твердого раствора, имеет свою собственную решетку, отличную от решеток компонентов.
- Промежуточные фазы могут быть переменного состава ( $A_xB_y$ ) или постоянного ( $A_mB_n$ ) состава.  
Промежуточные фазы постоянного состава называются химическими соединениями

## 2. Промежуточные фазы

Имеют собственную кристаллическую решетку, отличную от решеток А и В.  
Состав постоянный или изменяется в небольших пределах.

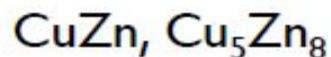
Обозначение:  $A_m B_n$ ,  $\sigma$  - фаза,  $\epsilon$  - фаза...

### Металл – Металл

- электронные соединения:

$e$  – число валентных электронов,  $n$  – число атомов

$$\frac{e}{n} = \frac{3}{2}, \frac{21}{13}, \frac{7}{4}$$



- фазы Лавеса  $A_2B$ , если  $R_B \gg R_A$  на 20 %  
 $\text{Fe}_2\text{Mo}$

### Металл – неметалл

$\text{FeO}$ ,  $\text{FeS}$  (оксиды, сульфиды - очень вредны в стали);

$\text{Fe}_3\text{C}$ ,  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{W}_2\text{C}$  – карбиды;

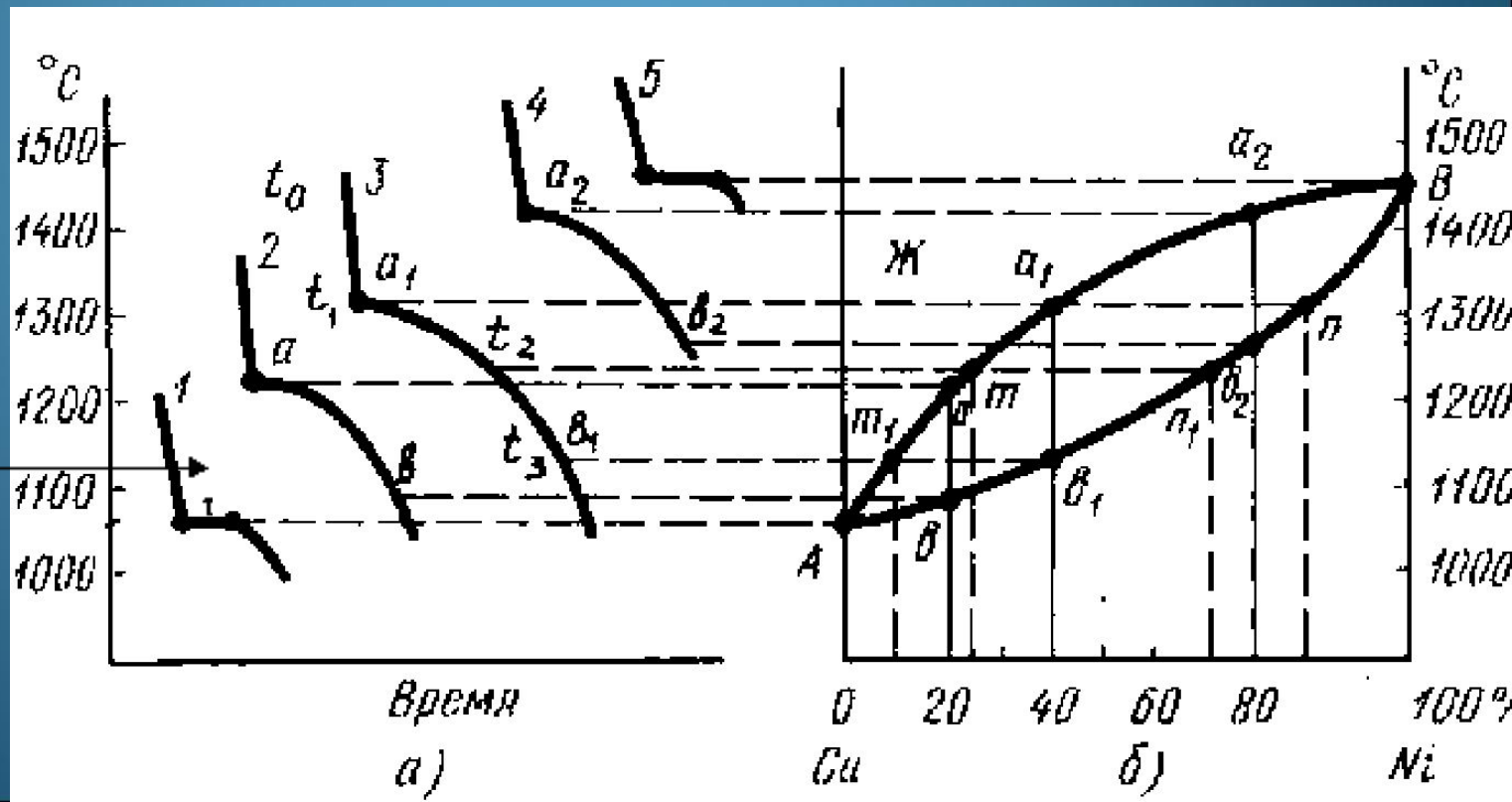
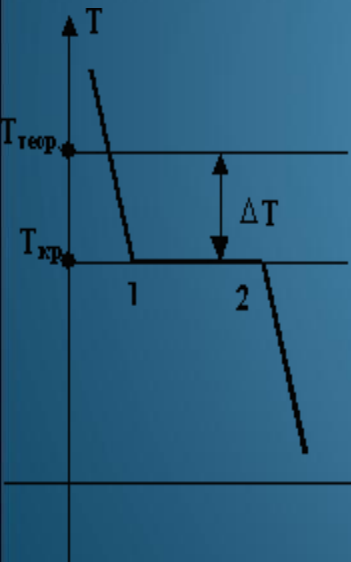
$\text{Fe}_2\text{N}$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$  – нитриды

. Свойства промежуточной фазы резко отличаются от свойств компонентов.

- При отсутствии растворимости компонентов друг в друге и химического взаимодействия с образованием химических соединений в структуре сплавов возможно образование механических смесей из двух и более фаз, которые кристаллизовались одновременно. Такая механическая смесь строго определенного состава из двух или более видов кристаллов, одновременно кристаллизовавшихся из расплава, называется эвтектикой. В составе эвтектик химические элементы и химические соединения сохраняют свои физико-химические свойства.



- Диаграммы равновесного состояния сплавов строятся по кривым охлаждения в координатах: химический состав - температура и представляют собой графические изображения фазовых или структурных состояний сплавов в зависимости от химического состава и



# Построение диаграммы состояний двойных сплавов



## Кривая охлаждения чистого металла





13

I

II

III

Сначала получают термические кривые. Полученные точки переносят на диаграмму, соединив точки начала кристаллизации сплавов и точки конца кристаллизации, получают диаграмму состояния.

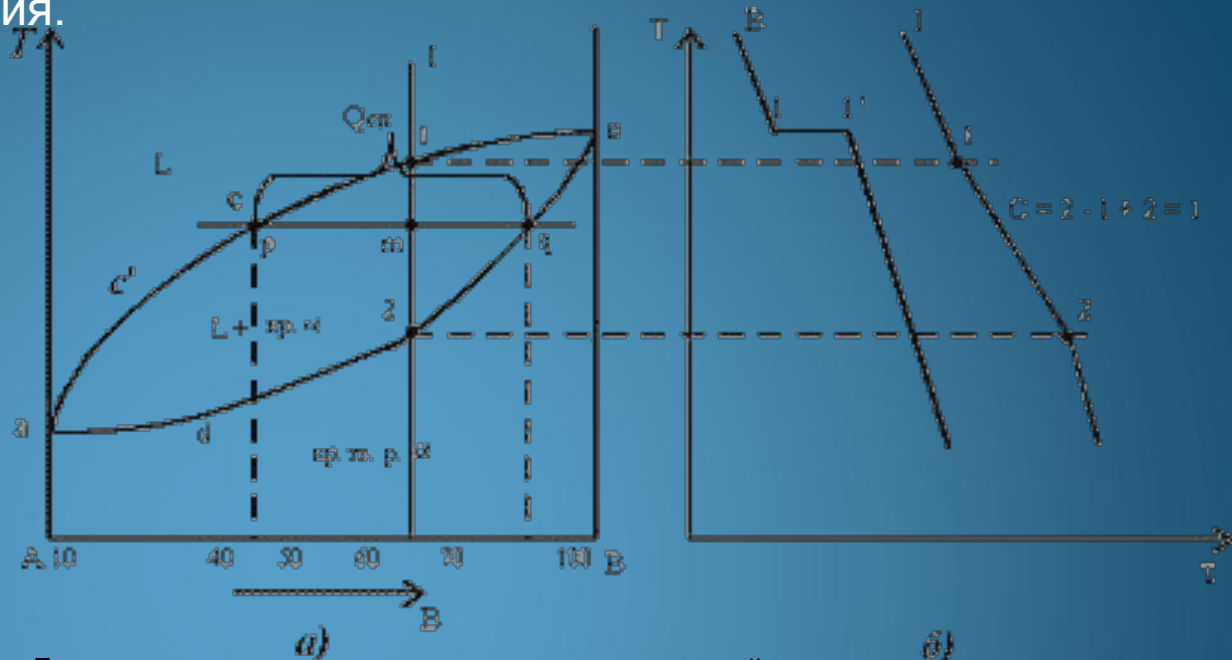
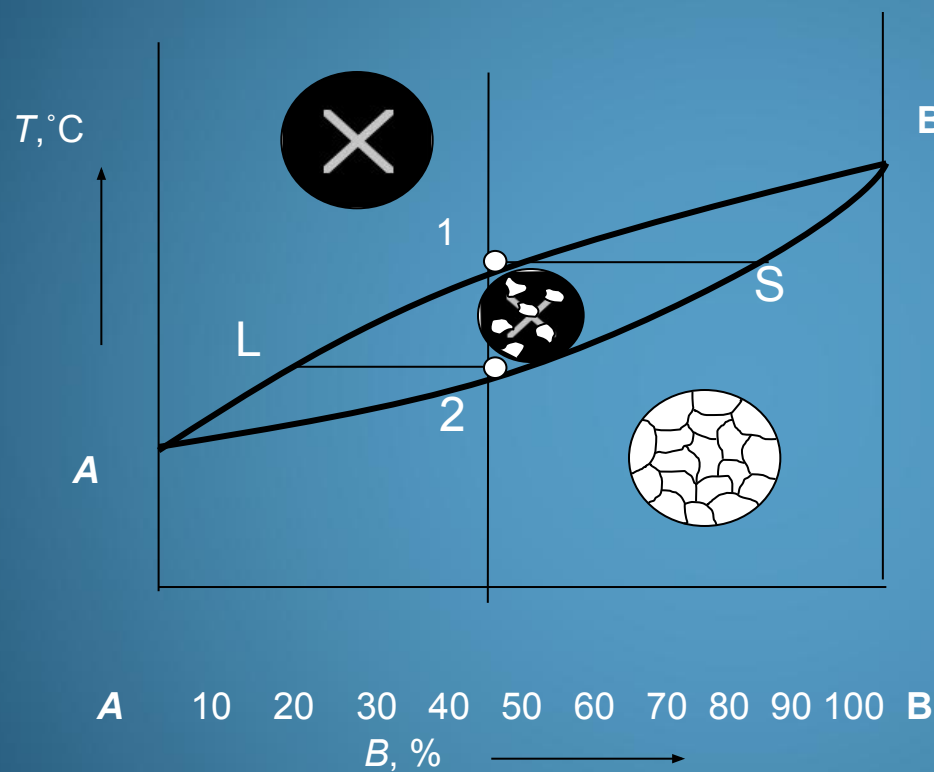


Диаграмма состояния сплавов с неограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а); кривые охлаждения типичных сплавов (б)

Проведем анализ полученной диаграммы.

1. Количество компонентов:  $K = 2$  (компоненты А и В).
2. Число фаз:  $f = 2$  (жидкая фаза L, кристаллы твердого раствора )
3. Основные линии диаграммы:
  - acb – линия ликвидус, выше этой линии сплавы находятся в жидком состоянии;
  - adb – линия солидус, ниже этой линии сплавы находятся в твердом состоянии.
4. Характерные сплавы системы
  - Чистые компоненты А и В кристаллизуются при постоянной температуре
  - Остальные сплавы кристаллизуются аналогично сплаву I

# Диаграмма состояния сплавов, компоненты которых полностью растворимы в твердом и жидком состояниях



**$AL1B$  – линия ликвидус;**

**$A2SB$  – линия солидус**

**Все сплавы данной системы кристаллизуются с образованием непрерывного ряда твердых растворов**

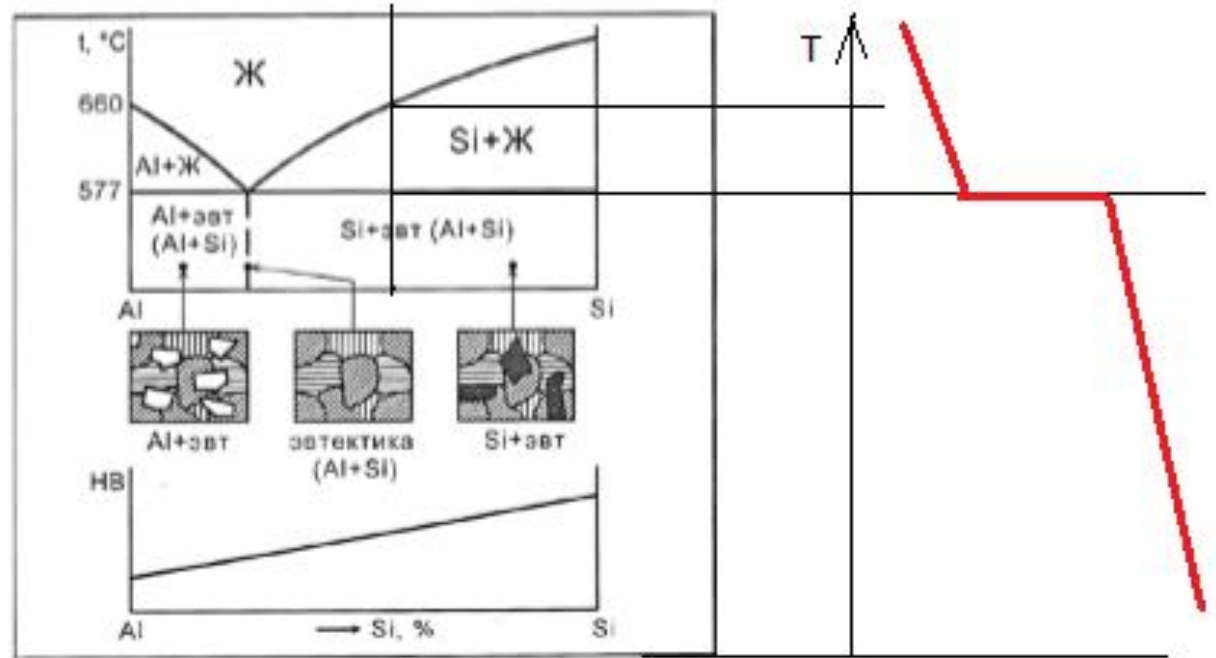


Диаграмма состояния двойных сплавов и схема зависимости твердости (НВ) от химического состава сплавов, компоненты которых полностью не растворяющихся друг в друге в твердом состоянии на примере системы Al - Si.

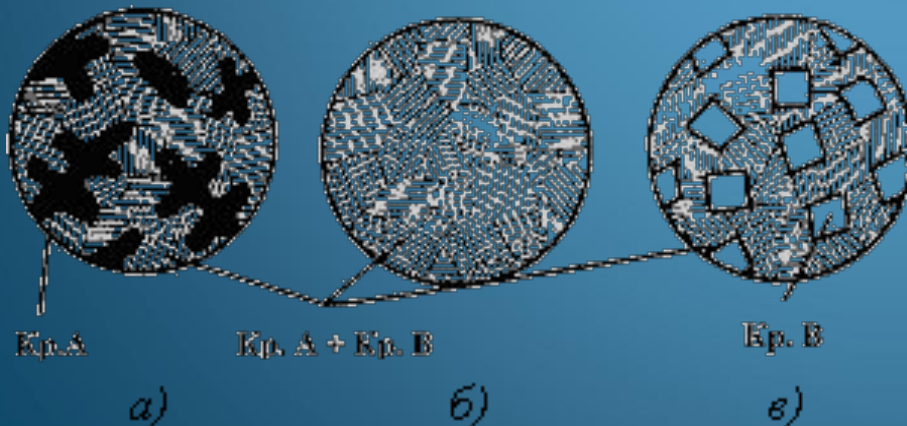
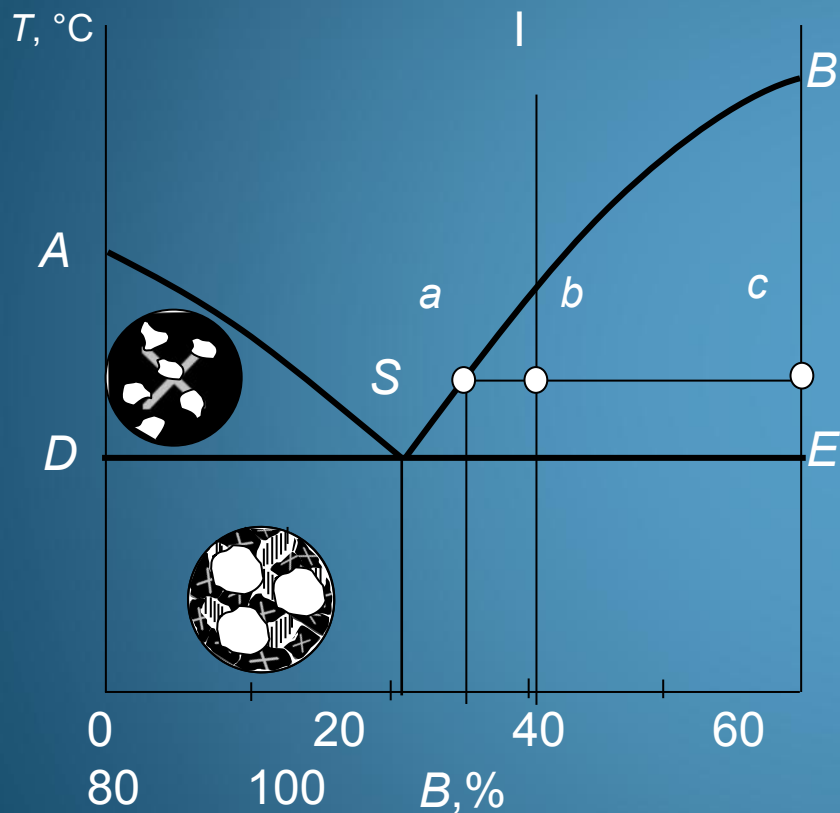


Схема микроструктур сплавов:  
 а – доэвтектического,  
 б – эвтектического, в – заэвтектического

# Диаграмма эвтектического типа без растворимости компонентов в твердом состоянии



*ASB* – линия ликвидус;

*DSE* – линия солидус.

Точка *a* на коноде (*adc*) показывает состав жидкости при данной температуре.

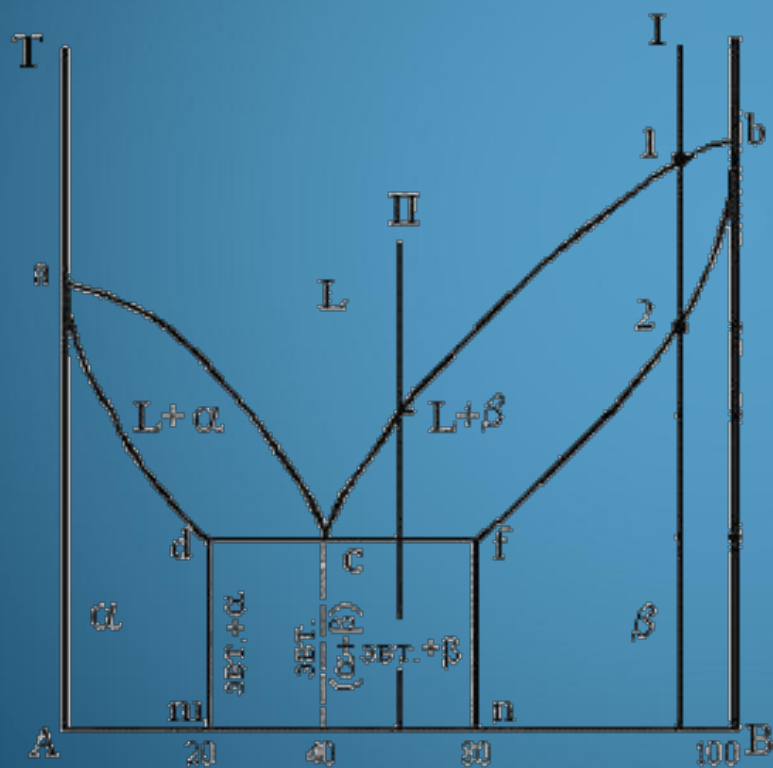
Количество жидкости в сплаве при данной температуре определяется пропорцией:

$$bc/ac \cdot 100 \%$$

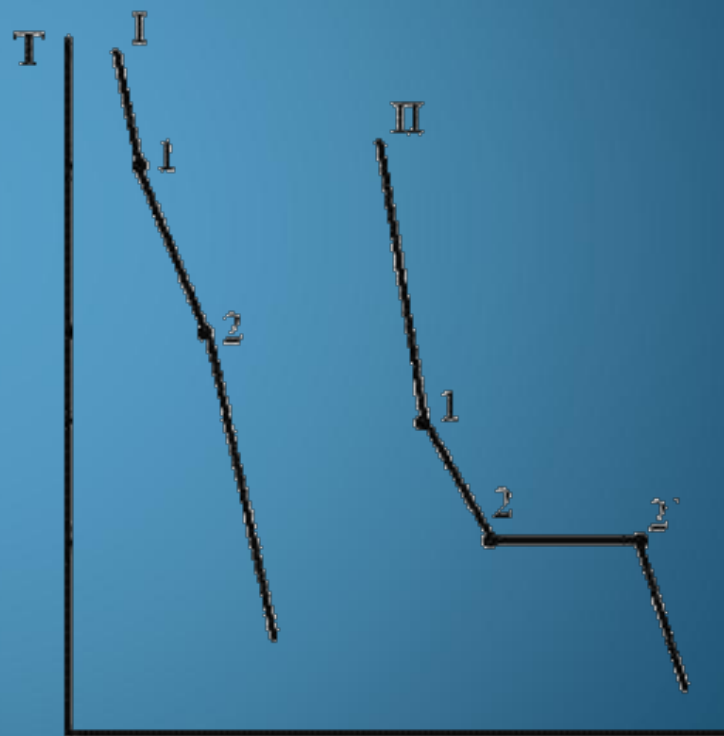
Количество компонента *B* в сплаве, при данной температуре, определяется пропорцией:

$$ab/ac \cdot 100 \%$$

Диаграмма состояния сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии (а) и кривые охлаждения типичных сплавов (б)



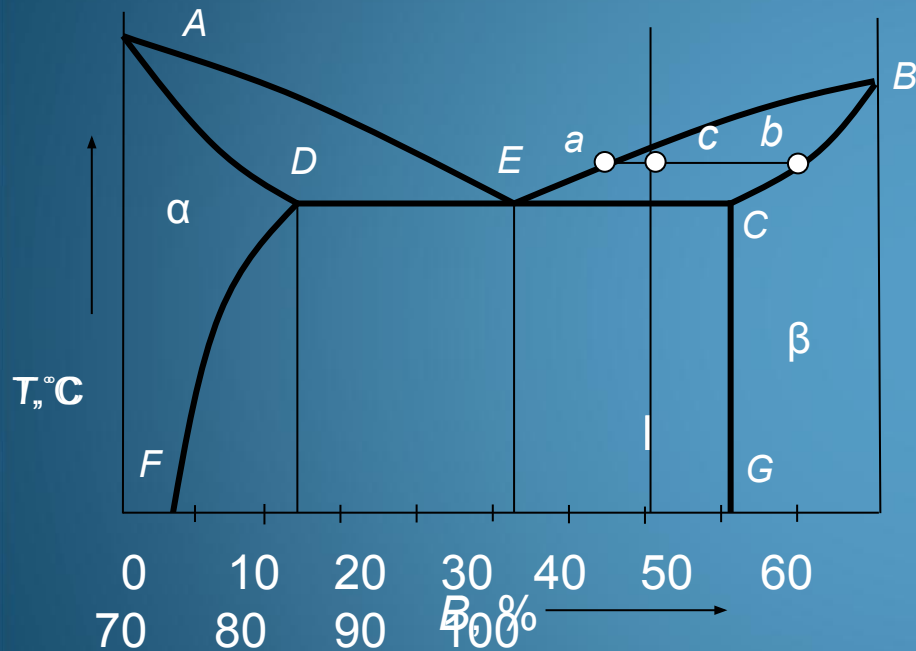
а)



б)



# Диаграмма эвтектического типа с растворимостью компонентов в твердом состоянии



$AEB$  – линия ликвидус;  
 $ADECB$  – линия солидус

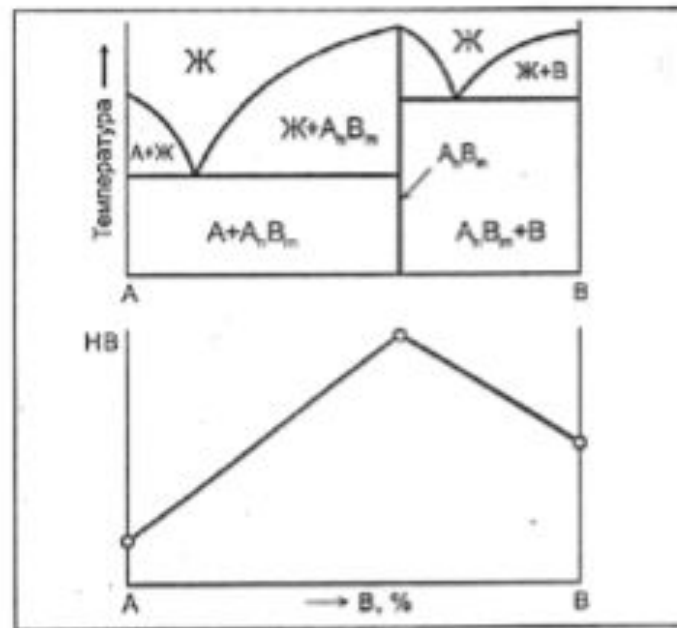
Точки  $a$  и  $b$ , принадлежащие коноде ( $acb$ ), показывают составы жидкости и  $\beta$ -твердого раствора при данной температуре.

Количество жидкости в сплаве при данной температуре определяется пропорцией:

$$cв/ac \cdot 100 \%$$

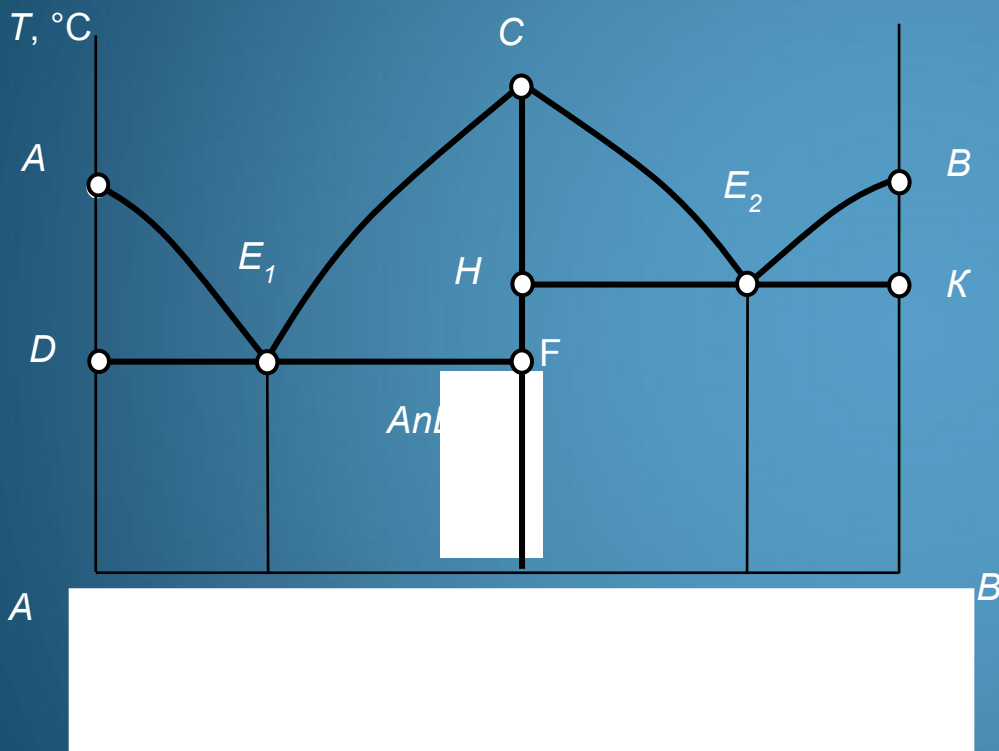
Количество  $\beta$ -твердого раствора в сплаве при данной температуре определяется пропорцией:

$$ac/ав \cdot 100 \%$$



Тип диаграммы состояния двойных сплавов и схема зависимости твердости (НВ) от химического состава сплавов, компоненты которых образуют химическое соединение  $A_nB_m$

# Диаграмма с химическим соединением



Линия ликвидус:  $AE_1CE_2B$ .  
Линия солидус:  $DE_1FHE_2K$ .

Эвтектическое превращение  
в сплавах, содержащих до  
52 % компонента  $B$ :



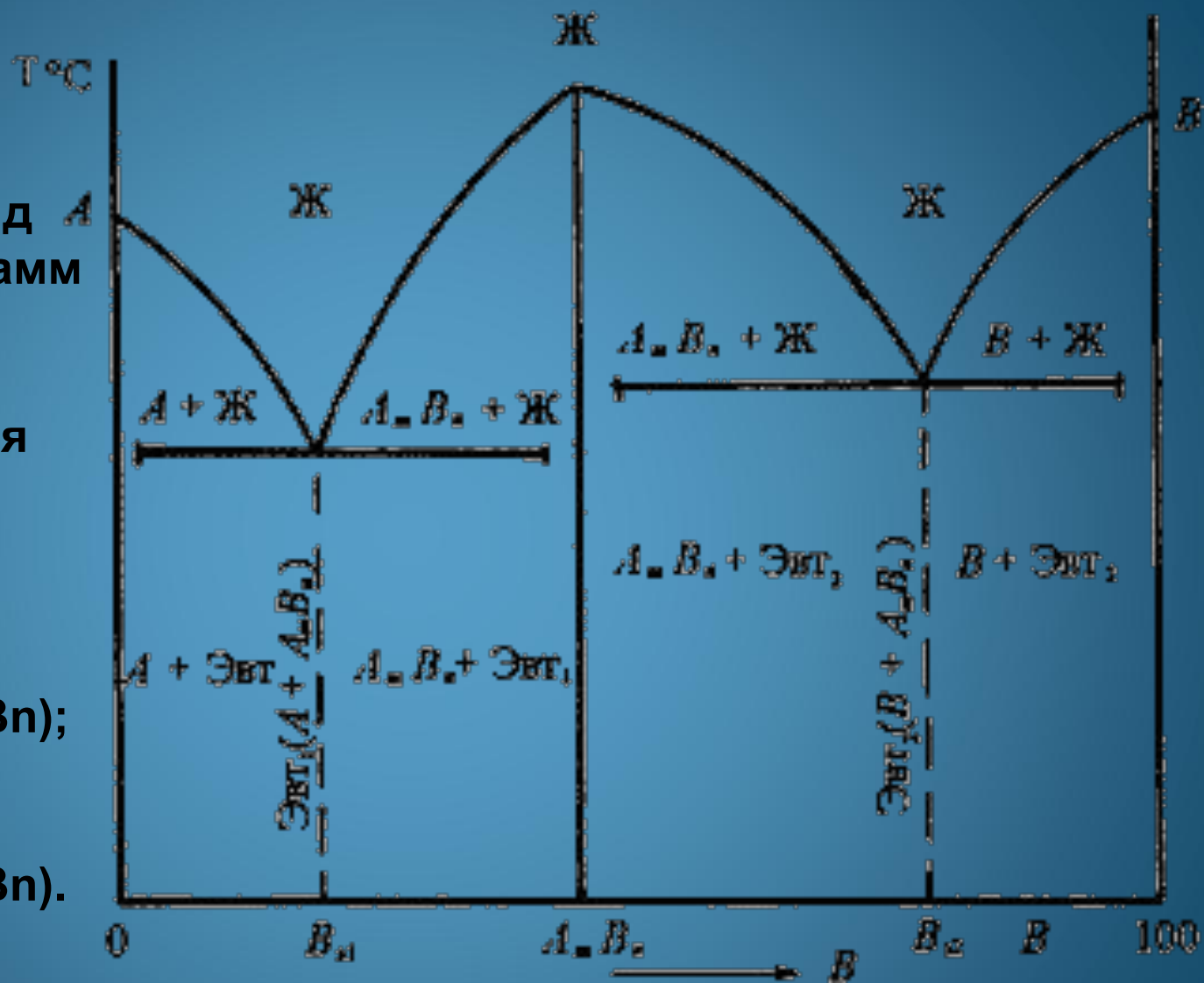
Эвтектическое превращение  
в сплавах, содержащих  
более 52 % компонента  $B$ :



Число фаз и вид простых диаграмм определяются характером взаимодействия между компонентами.

Эвт<sub>1</sub>  
(кр. А + кр. AmBn);

Эвт<sub>2</sub>  
(кр. В + кр. AmBn).



# Правила чтения диаграмм

Для анализа диаграмм используют

три основных правила: **Правило фаз** Гиббса указывает какое число фаз может

одновременно существовать в системе:

- правило фаз Гиббса,

$$C = K + 1 - \Phi,$$

где:  $C$  - число степеней свободы, т.е. число внешних

- правило концентраций,

(давление и температура) и внутренних (концентрация) факторов, которые можно менять, не нарушая равновесия (фазового состава);

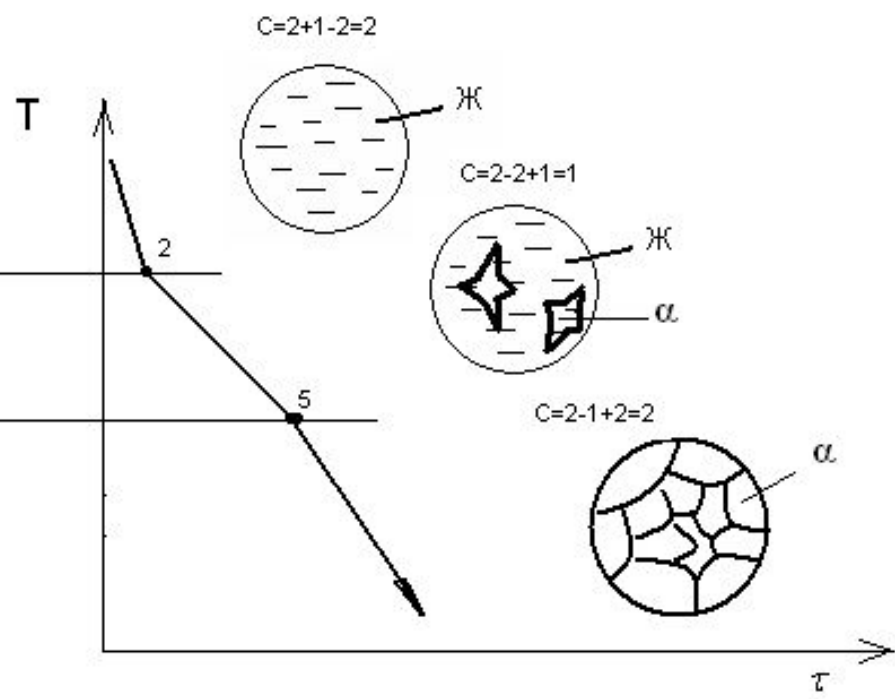
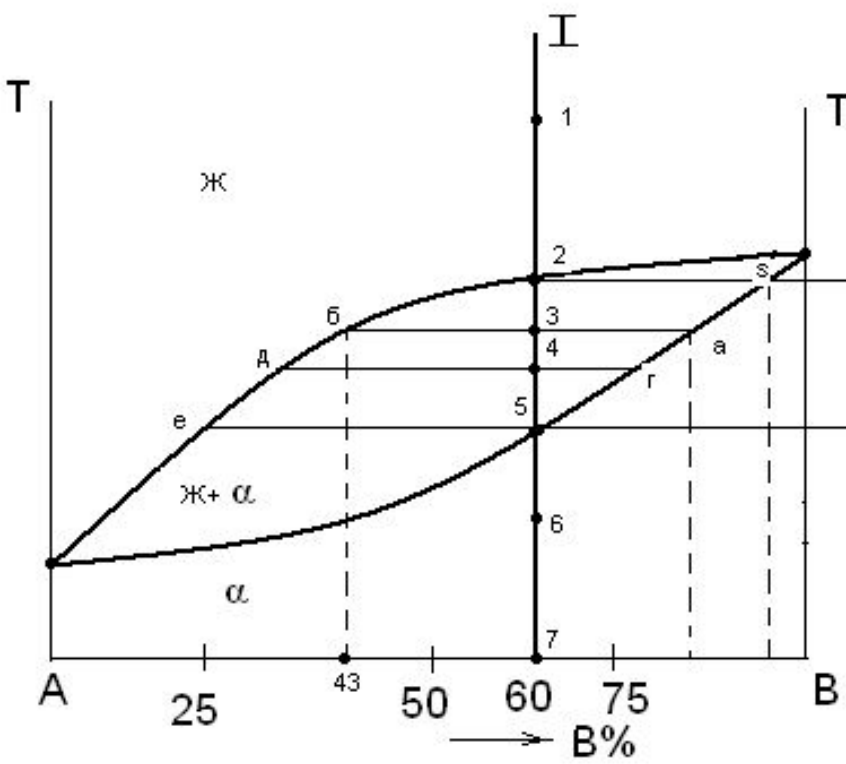
- правило отрезков.

$K$  - число компонентов;

$\Phi$  - число фаз, участвующих в превращении.

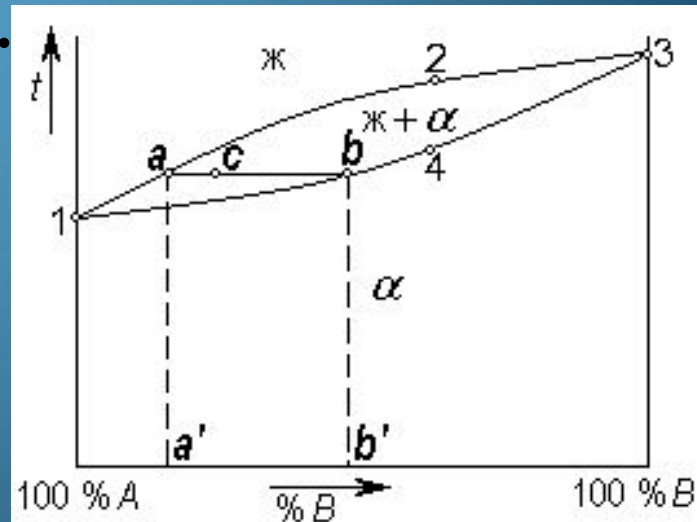
# Правило концентраций

- Правило концентраций определяет химический состав фаз, участвующих в превращении.
- Для этого через точку сплава двухфазной области проводят горизонтальную линию (каноду) до пересечения с границами фазовой области. Проекция точек пересечения на ось концентраций и **определяет химический состав фаз.**



Правило отрезков (правило рычага) определяет количественное соотношение фаз (по массе) в двухфазных областях диаграммы состояния.

Точка сплава делит горизонталь на два отрезка, пропорциональные количеству присутствующих в фазовой области фаз (противолежащих отрезкам).





Определение количественного соотношения жидкой и твердой фазы при заданной температуре (в точке  $m$ ):



Рассмотрим проведенную через точку  $m$  коноду и ее отрезки.

Количество всего сплава ( $Q_{\text{сп}}$ ) определяется отрезком  $pq$ .

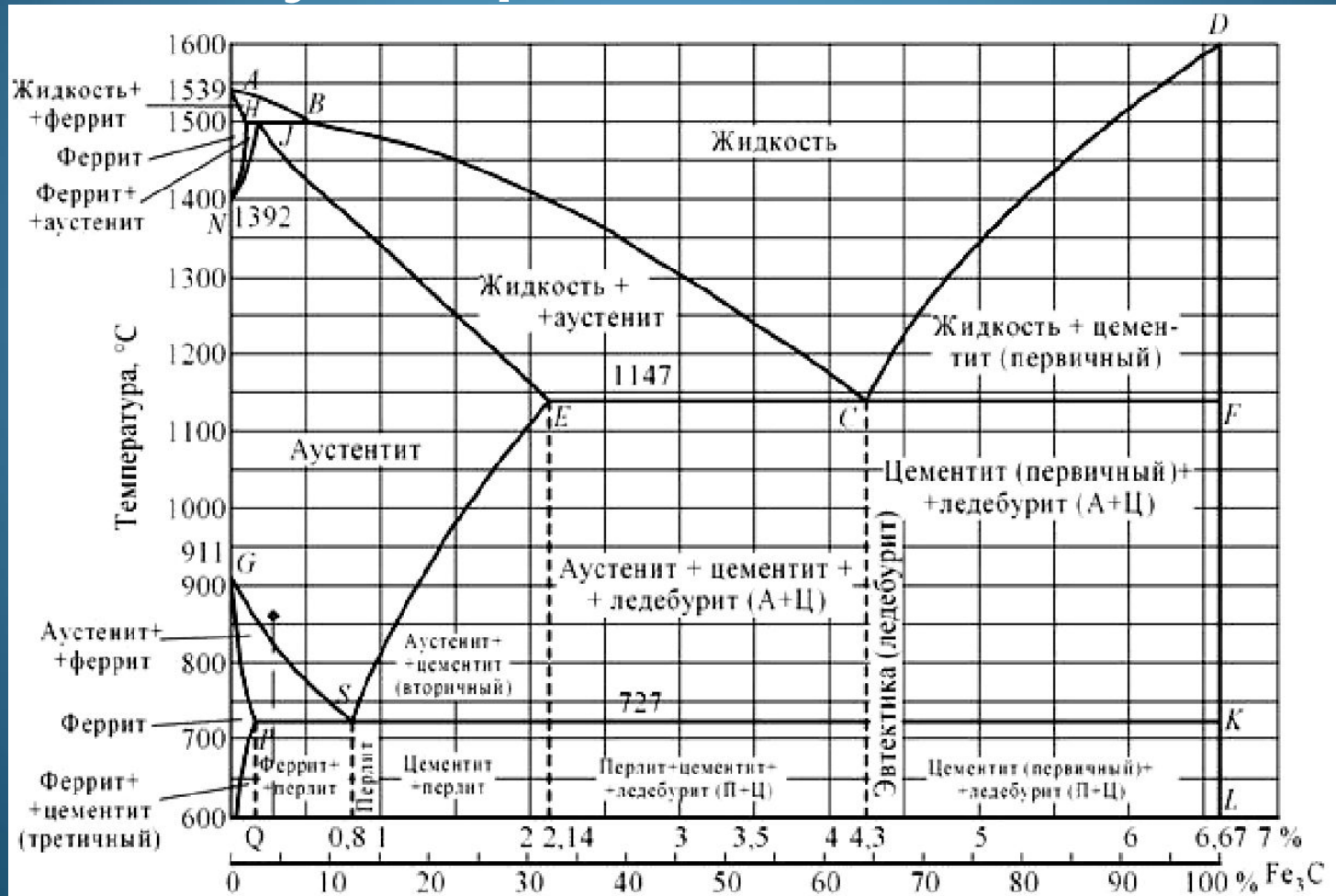
$$Q_{\text{жe}} = \frac{pm}{pq} \cdot 100\%$$

Отрезок, прилегающий к линии ликвидус  $pm$ , определяет количество твердой фазы.

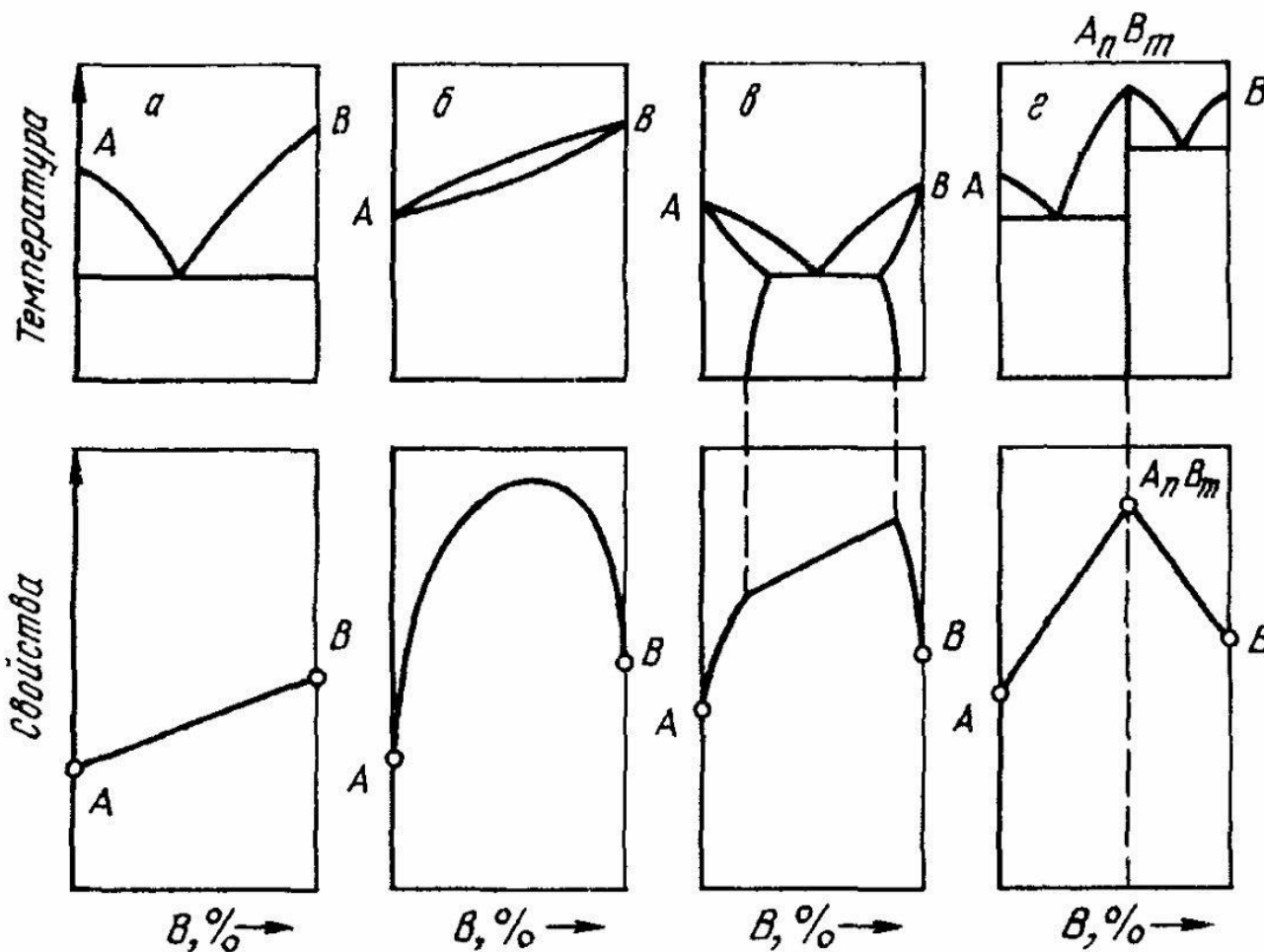
Отрезок, прилегающий к линии солидус (или к оси компонента)  $mq$ , определяет количество жидкой фазы.

$$Q_{\text{жe}} = \frac{mq}{pq} \cdot 100\%$$

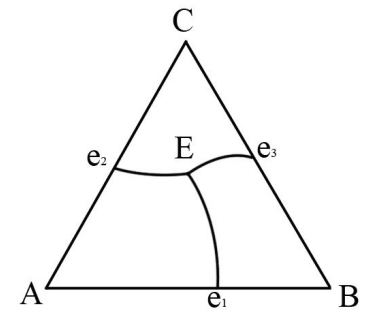
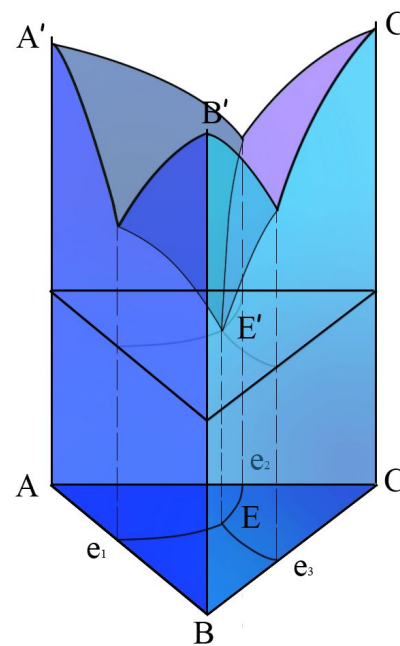
# Встречаются и сложные диаграммы, например система железоуглеродистых сплавов.



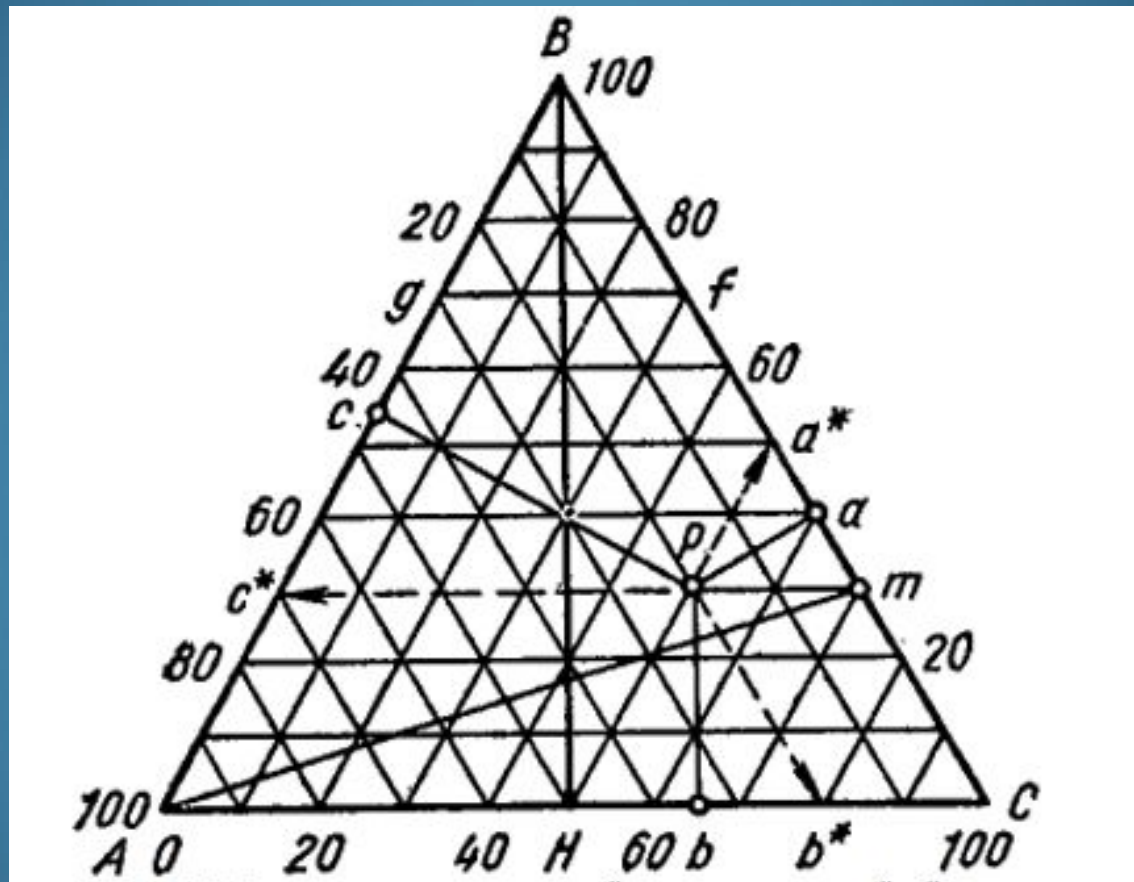
# Диаграммы состояния позволяют прогнозировать свойства сплавов



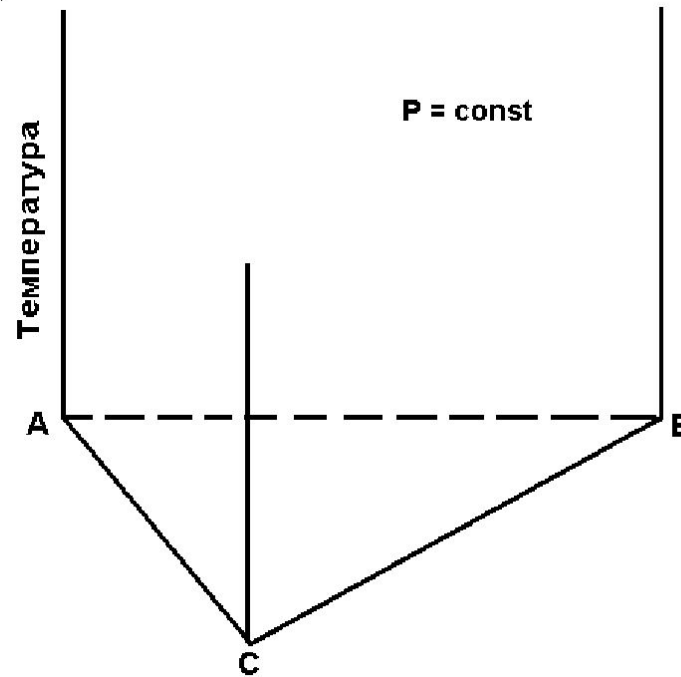
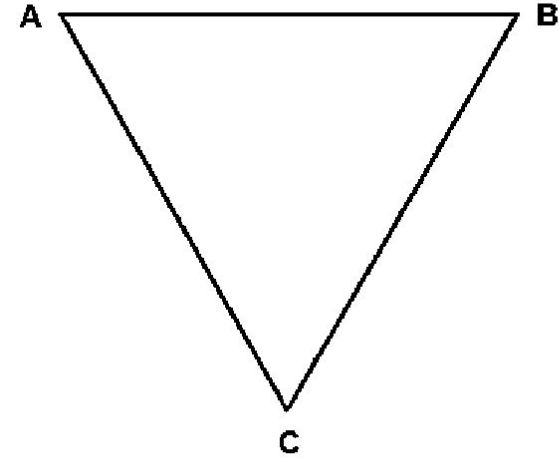
- Фазовые диаграммы **трехкомпонентных систем** обычно выражают в виде равностороннего треугольника, вершины которого отвечают 100% каждого компонента, а точки, лежащие на его сторонах - составам бинарных систем



## Трехкомпонентные системы

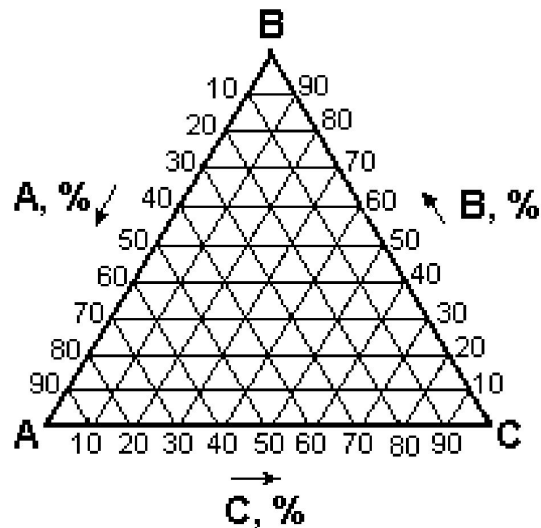
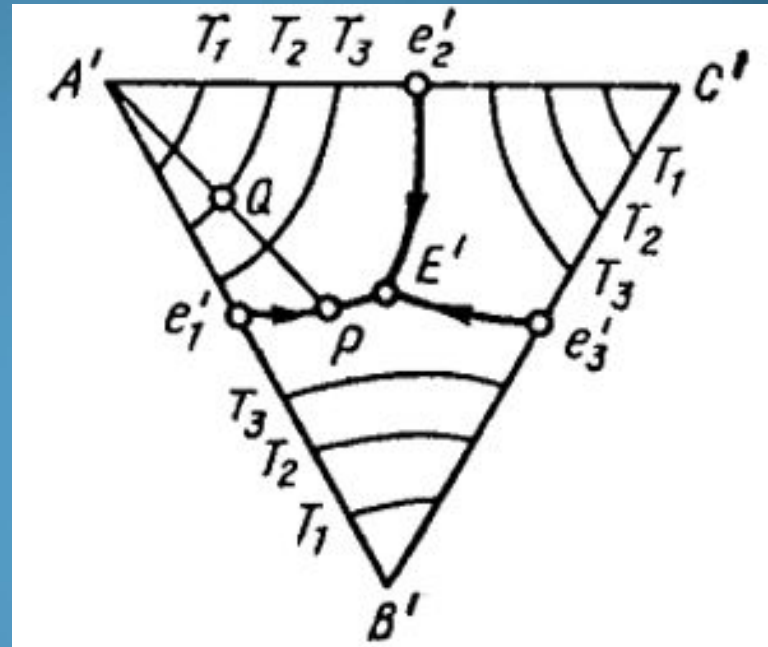
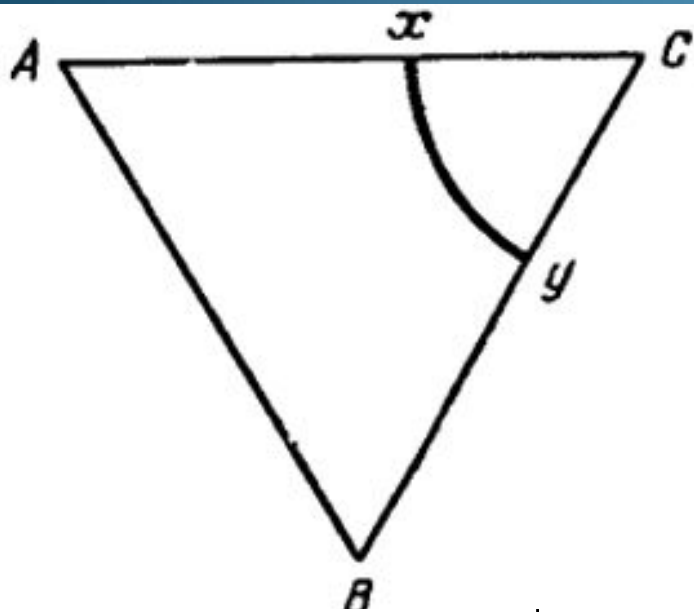


- Концентрации всех трех компонентов откладывают по сторонам равностороннего треугольника который называют *концентрационным*

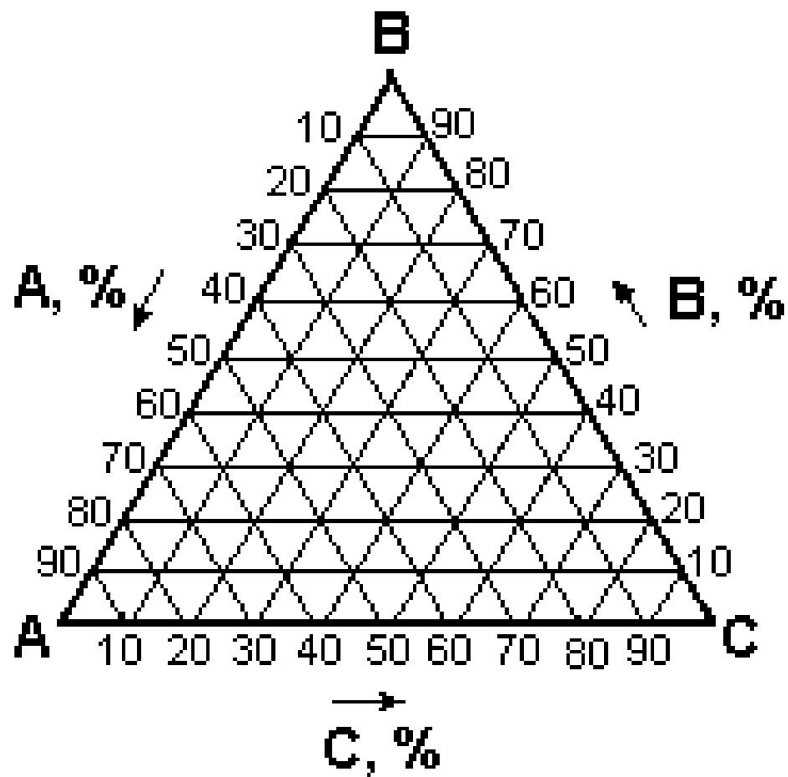


- Фигуральные точки трехкомпонентных сплавов разных составов находятся внутри треугольника. Далее к плоскости концентрационного треугольника
- восстанавливают перпендикулярные оси, вдоль которых откладывают значения температуры

Сечения объемной диаграммы горизонтальными плоскостями дают изотермические разрезы диаграмм тройных систем, т.е. отражают фазовые равновесия при одной постоянной температуре



Концентрационный треугольник системы АВ С: изображение содержания компонентов по часовой



- Концентрационный треугольник системы АВС: изображение содержания компонентов по часовой



Простейшая объемная диаграмма состояния трехкомпонентной системы, в которой компоненты неограниченно растворимы друг в друге в жидком состоянии и совсем нерастворимы в твердом. Она является аналогом диаграммы двухкомпонентной системы первого типа.

