

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ**  
**по курсу**  
**"ФАЗОВЫЕ ДИАГРАММЫ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМ"**

**ЛЕКЦИИ 1–2:**

**ЗАДАЧИ**

1. Вывод правила фаз Гиббса.
2. Метастабильная устойчивость фаз:
  - знак теплоты перехода I рода при нагреве и принцип Ле-Шателье;
  - ограничения на расположение линий равновесия вблизи тройной точки;
  - соотношение между температурами плавления стабильной и метастабильной фаз.
3. Критическая точка типа жидкость-пар. Вывод условия  $(\partial P/\partial V)_T = 0$  для критической точки. Критическая опалесценция и ее причина. Системы, описываемые уравнением ван-дер-Ваальса: вывод правила Максвелла и закона соответственных состояний.
4. Изохоры на  $T$ - $P$  диаграммах однокомпонентных веществ с положительным и отрицательным объемным эффектом плавления.
5. Вывод правила общей касательной к кривым свободной энергии для двухфазного равновесия в двухкомпонентной системе и вывод правила рычага.
6. Двойные системы с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и твердом состоянии. Температурные зависимости кривых свободной энергии жидкости и твердого раствора для диаграмм типа сигары и диаграмм с минимумом и максимумом на кривой плавления. Вид термограмм для различных составов сплавов.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1) Определения фазы и независимых компонентов. Определение коноды.
- 2) Критерий устойчивости фазы при заданных  $T$  и  $P$ .
- 3) Определение фазового перехода I рода.
- 4) Формула Клапейрона-Клаузиуса для переходов I рода.
- 5) Формула Вант-Гоффа для сублимации.

**ЛЕКЦИИ 3–5:**

**ЗАДАЧИ**

7. Двойные системы с неограниченной растворимостью компонентов в жидком состоянии и расслоением на две фазы в твердом состоянии. Температурные зависимости кривых свободной энергии жидкости и твердого раствора для диаграммы, подобной эвтектической. Вид термограмм для различных составов сплавов.
8. Диаграмма двойной системы с перитектическим равновесием. Температурные зависимости кривых свободной энергии жидкости и двух твердых растворов. Вид термограмм для различных составов сплавов.
9. Энергия Гиббса слабого раствора. Химические потенциалы растворителя и растворенного вещества. Фазовые границы вблизи чистого вещества.
10. Модель регулярных растворов. Вывод условия равновесия двух фаз.
11. Модель регулярных растворов для расслоения в растворах с псевдокомпонентами. Вывод формул для концентрационных зависимостей температуры расслоения и температуры спинодали, а также для зависимости критической температуры расслоения от величины энергии смешения.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6) Пример диаграммы с ретроградной конденсацией.
- 7) Пути кристаллизации и термограммы для различных составов сплавов на  $T$ - $c$  диаграмме Рис. 1.
- 8) Отличие псевдокомпонента (внутреннего параметра) от независимого компонента системы. Три примера псевдокомпонентов.
- 9) Различия в фазовых равновесиях в системе металл-газ при температурах ниже и выше температуры замораживания обмена атомами с газовой фазой (на примере системы Pd-H).
- 10) Понятие спинодали. Расположение спинодальных кривых на  $T$ - $c$  сечениях и проекциях фазовых диаграмм с куполом расслоения. Расположение спинодальных кривых на  $T$ - $P$  диаграммах псевдодвухфазных систем (например, церия).
- 11) Общие закономерности строения  $T$ - $c$  диаграмм двойных систем:
  - Что может отделять друг от друга двухфазные области?
  - Сколько двухфазных областей прилегает к горизонтали трехфазного равновесия и сколько граничных кривых может к ней подходить?
  - Что порождает пересечение двух граничных кривых?

## ЛЕКЦИИ 6–7:

### ЗАДАЧИ

- Диаграммы тройных систем без твердых растворов. Проекция диаграмм состояния, направление снижения температуры на граничных кривых согласно теореме Алкемаде, изотермические сечения во всех характерных интервалах температур, пути кристаллизации для заданных фигуративных точек с указанием состава жидкости и среднего состава выделившихся кристаллов, а также состава выделяющихся кристаллов на каждом этапе кристаллизации.
12. Система с одной тройной эвтектикой (Рис. 2). Последовательность температур  $T_B > T_A > T_C > T_{e1} > T_{e3} > T_{e2} > T_E$ . Изотермические сечения при  $T > T_B$ ,  $T_B > T > T_A$ ,  $T_A > T > T_C$ ,  $T = T_{e1}$ ,  $T_{e1} > T > T_{e3}$ ,  $T_{e3} > T > T_{e2}$ ,  $T_{e2} > T > T_E$ ,  $T = T_E + \delta$  и  $T = T_E - \delta$ . Пути кристаллизации для точек 1 и 2.
  13. Система с конгруэнтно плавящимся двойным соединением  $\overline{AB}$  (Рис. 3) в случае, когда линия Алкемаде  $\overline{AB}-C$  не пересекает границу областей ( $\overline{AB}$ ) и ( $C$ ). Последовательность температур  $T_A > T_{\overline{AB}} > T_{e4} > T_C > T_{e1} > T_B > T_{e3} > T_P > T_E$ . Изотермические сечения при  $T_{e4} > T > T_C$ ,  $T_{e1} > T > T_B$ ,  $T = T_P + \delta$  и  $T = T_P - \delta$ . Пути кристаллизации для точек 1–4.
  14. Система с инконгруэнтно плавящимся двойным соединением  $\overline{AB}$  (Рис. 4) и последовательностью температур  $T_A > T_{p1} > T_C > T_{e1} > T_B > T_{e3} > T_P > T_{e2} > T_E$ . Изотермические сечения при  $T_{p1} > T > T_C$ ,  $T_{e1} > T > T_B$ ,  $T = T_P + \delta$ ,  $T = T_P - \delta$  и  $T_{e2} > T > T_E$ . Пути кристаллизации для точек 1–3.
  15. Система с инконгруэнтно плавящимся двойным соединением  $\overline{AB}$  (Рис. 5) с полем первичной кристаллизации только в области тройных составов. Последовательность температур  $T_B > T_A > T_{e3} > T_{2P} > T_C > T_{e2} > T_P > T_{e1} > T_E$ . Изотермические сечения при  $T = T_{2P} + \delta$ ,  $T = T_{2P} - \delta$ ,  $T_C > T > T_{e2}$ ,  $T_{e2} > T > T_P$ ,  $T = T_P + \delta$  и  $T = T_P - \delta$ . Пути кристаллизации для точек 1–3.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 12) Определение составов на концентрационном треугольнике. Соотношения между концентрациями компонентов для составов, принадлежащих линии, параллельной одной из сторон треугольника, и лучу, проведенному из вершины треугольника.
- 13) Правило рычага для концентрационного треугольника.
- 14) Правила рычага для тройных систем без твердых растворов:
  - содержание жидкой и твердой составляющих сплава (I правило Свенсона);
  - содержание компонентов в твердой составляющей сплава (II правило Свенсона);
  - состав выпадающих кристаллов (правило касательной);
- 15) Определения первичной фазы, области первичной (кристаллизации) фазы и граничной линии.
- 16) Линии Алкемаде. Теорема Алкемаде.
- 17) Треугольники Алкемаде и фазовый состав сплавов после кристаллизации.
- 18) Общие особенности кристаллизации в трехкомпонентных системах без твердых растворов:
  - Как выглядит путь кристаллизации в пределах области первичной фазы?
  - Какие кристаллические фазы выделяются вдоль граничной линии?
  - От каких граничных кривых может отклоняться кривая кристаллизации, и как обозначаются такие граничные кривые?
  - В каких случаях кривая кристаллизации отклоняется от граничной кривой, и как определить точку отклонения?
  - В каких точках может оканчиваться кривая кристаллизации?

## ЛЕКЦИИ 8–10:

### ЗАДАЧИ

Диаграммы тройных систем с растворимостью компонентов в твердом состоянии. Объемные  $T$ - $c$  диаграммы, изотермические сечения в характерных интервалах температур, проекции пути кристаллизации (кривых изменения состава жидкости и кристаллических фаз при охлаждении) для заданных фигуративных точек с указанием состава жидкости и выделившихся кристаллов.

16. Система с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и кристаллическом состоянии (Рис. 6). Последовательность температур  $T_B > T_A > T_C$ . Изотермические сечения при  $T_B > T > T_A$ ,  $T = T_A$  и  $T_A > T > T_C$ . Путь кристаллизации для точки 1.
17. Система с расслоением твердых растворов (Рис. 7а,б). Изотермические сечения при  $T_{K'} > T > T_{\text{комн}}$  и  $T = T_{\text{комн}}$ . Пути кристаллизации для точек 1 и 2.
18. Система с моновариантным эвтектическим равновесием (Рис. 8а,б). Последовательность температур  $T_B > T_A > T_C > T_{e1} > T_{e2}$ . Изотермические сечения при  $T_A > T > T_{e1}$ ,  $T = T_C$ ,  $T = T_{e1}$ ,  $T_{e1} > T > T_{e2}$  и  $T = T_{\text{комн}}$ . Пути кристаллизации для точек 1–4.
19. Система с моновариантным перитектическим равновесием (Рис. 9а,б). Последовательность температур  $T_B > T_{p1} > T_{p2} > T_A > T_C$ . Изотермические сечения при  $T_B > T > T_{p1}$ ,  $T = T_{p1}$ ,  $T_{p1} > T > T_{p2}$ ,  $T = T_{p2}$ ,  $T = T_A$ ,  $T_A > T > T_C$  и  $T = T_{\text{комн}}$ . Пути кристаллизации для точек 1–4.
20. Система с инвариантным эвтектическим равновесием (Рис. 10а,б). Последовательность температур  $T_B > T_A > T_C > T_{e2} > T_{e1} > T_{e3} > T_E$ . Изотермические

сечения при  $T = T_{e2}$ ,  $T_{e1} > T > T_{e3}$ ,  $T_{e3} > T > T_E$ ,  $T = T_E + \delta$ ,  $T = T_E - \delta$  и  $T = T_{\text{комн}}$ .  
Пути кристаллизации для точек  $E$  и  $1$ .

21. Диаграмма четырехкомпонентной системы с неограниченной растворимостью компонентов в жидком и кристаллическом состоянии. Последовательность температур  $T_A > T_B > T_C > T_D$ . Путь кристаллизации для состава, кристаллизация которого начинается при  $T_A > T > T_B$  и заканчивается при  $T_B > T > T_C$ . Изотермические сечения для температур начала, середины и конца интервала кристаллизации этого состава.
22. Вывод теоремы Палатника о соприкосновении областей состояния.
23. Применение теоремы Палатника к двух- и трехмерным сечениям диаграмм. Вывод теоремы Райнза.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 19) Теорема Райнза. Ошибка на диаграмме системы Ti-N и термодинамически допустимый вид диаграммы в области ошибки (Рис. 11).
- 20) Правило креста для стыков четырех линий на двумерных сечениях и проекциях фазовых диаграмм.
- 21) Ограничения на расположение линий равновесия вблизи стыка четырех линий на сечениях и проекциях фазовых диаграмм трехкомпонентных систем.
- 22) Правило Палатника для критических элементов фазовых диаграмм. Пример трехкомпонентной системы с куполом расслоения жидкости на 3 фазы.
- 23) Определение составов в концентрационном тетраэдре для четырехкомпонентных систем.
- 24) Соотношения между концентрациями компонентов для составов, принадлежащих особым сечениям концентрационного тетраэдра:
  - плоскости, параллельной одной из граней;
  - плоскости, проходящей через ребро тетраэдра, и линии, принадлежащей этой плоскости и проходящей через точку ее пересечения с накрестлежащим ребром тетраэдра;
  - плоскости и линии, проходящим через вершину тетраэдра;
- 25) Геометрические образы двух-, трех-, четырех- и пятифазных равновесий в четырехкомпонентных системах при  $P = \text{const}$ .

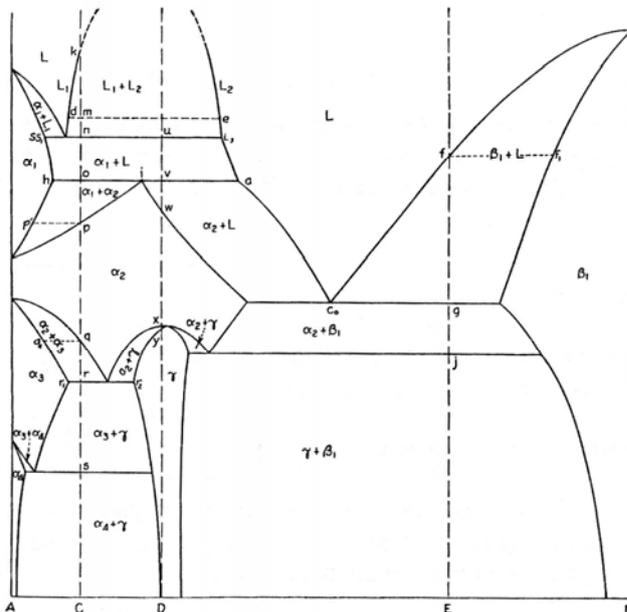


Рис. 1

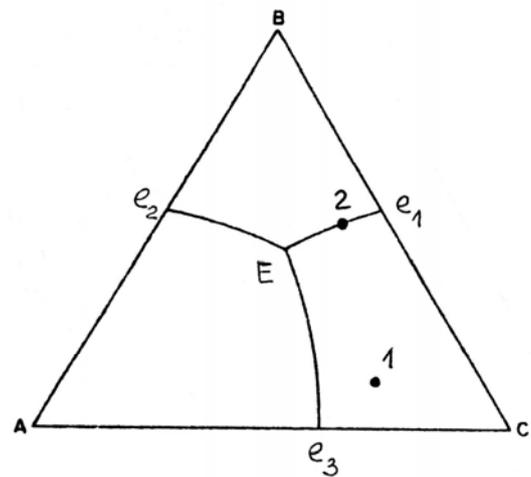


Рис. 2

Рис. 3

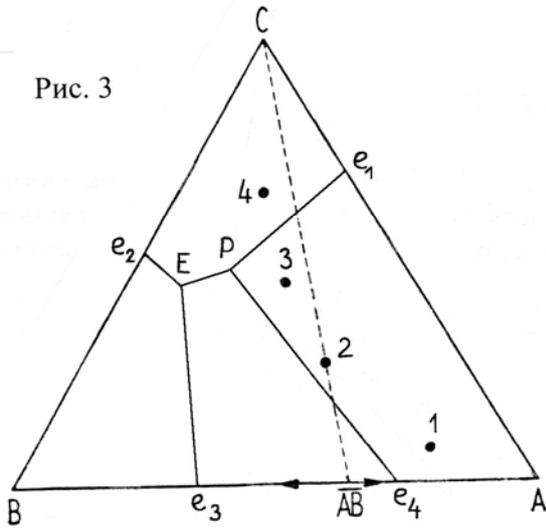


Рис. 4

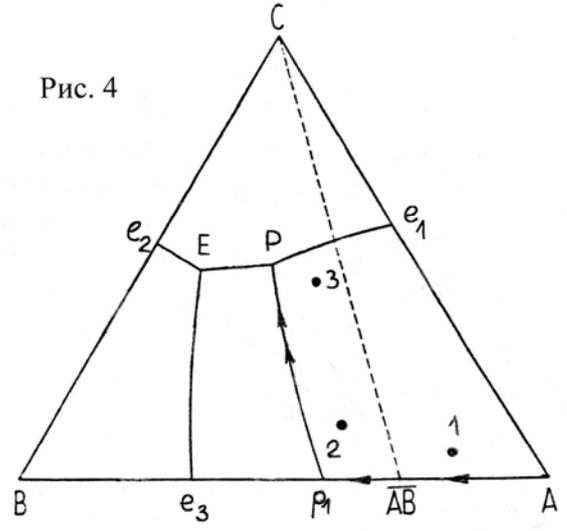


Рис. 5

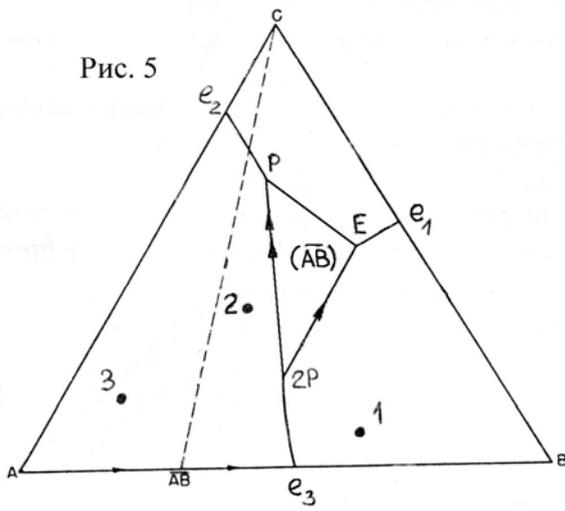


Рис. 6

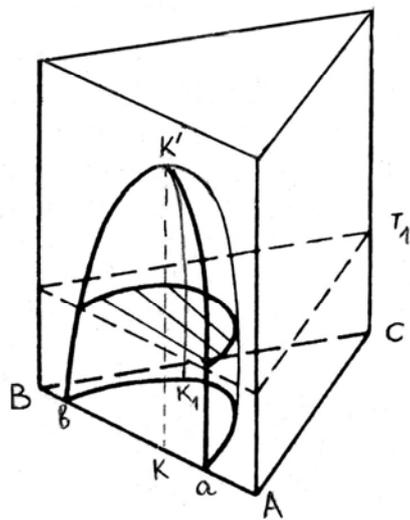
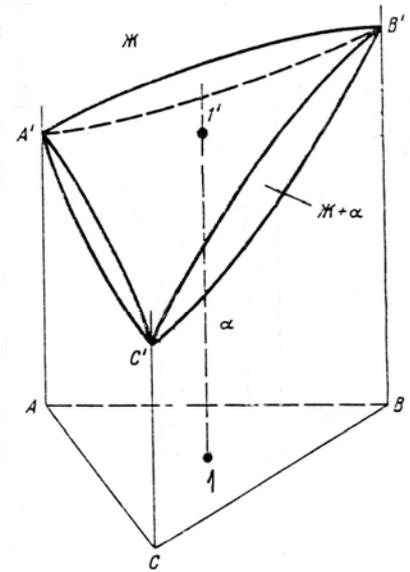


Рис. 7а

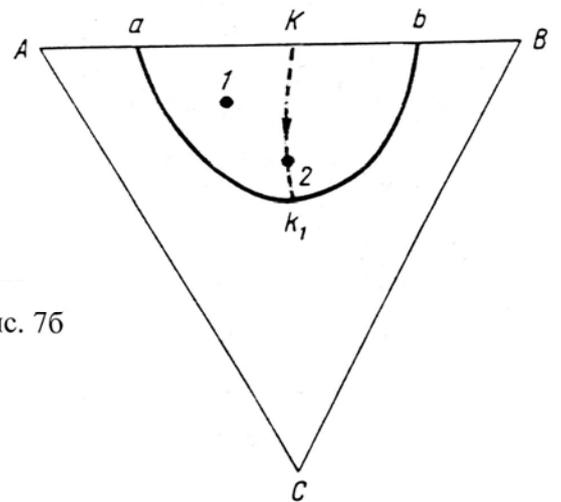


Рис. 7б

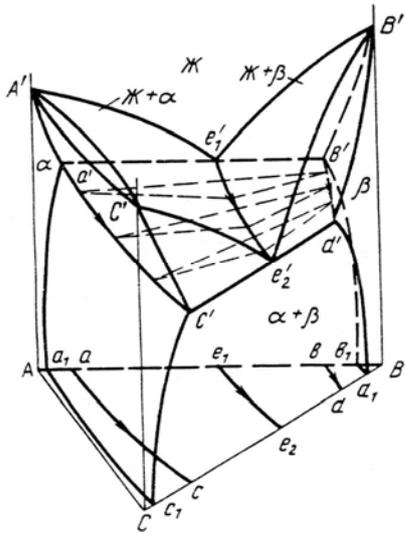


Рис. 8а

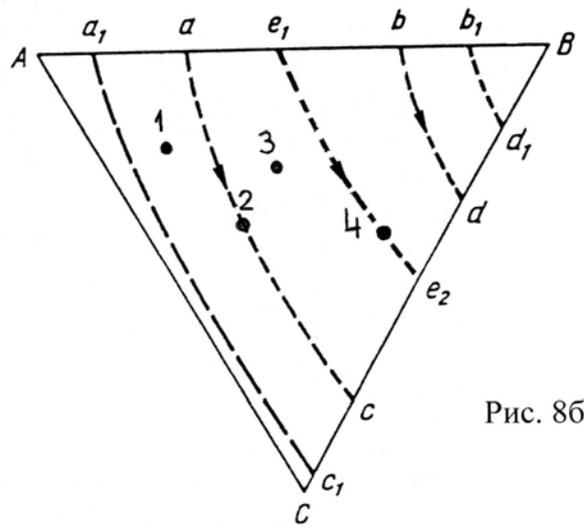


Рис. 8б

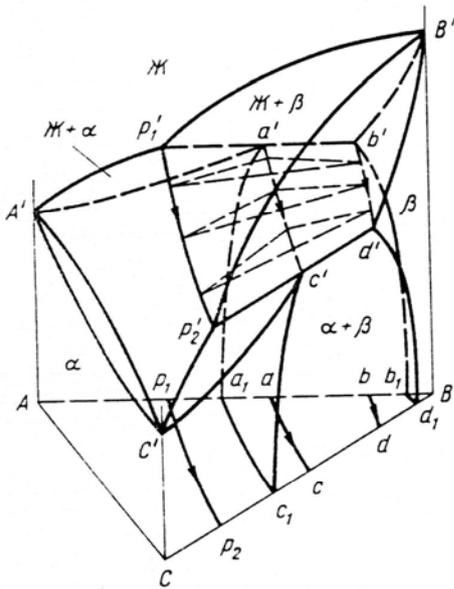


Рис. 9а

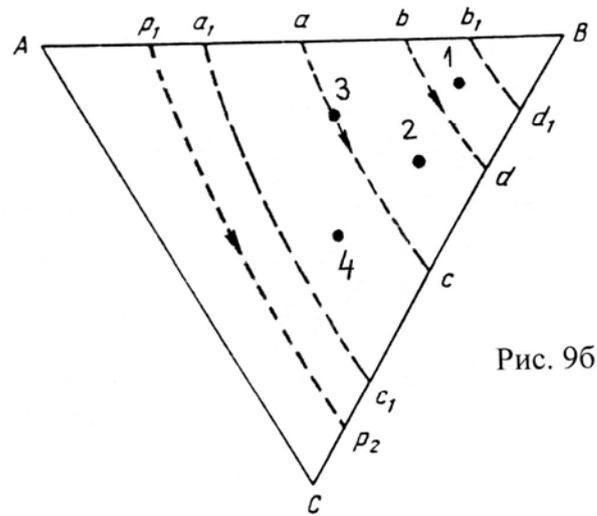


Рис. 9б

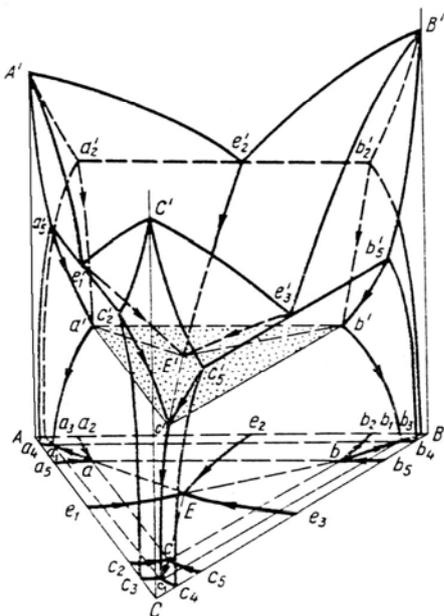


Рис. 10а

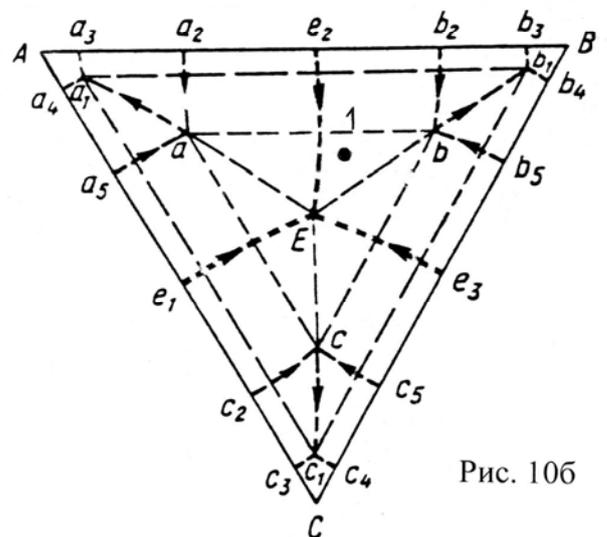


Рис. 10б

