

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГАОУ ВО "Новосибирский национальный  
исследовательский государственный университет"**

**Факультет естественных наук**

**УТВЕРЖДАЮ**



Декан ФЕН НГУ, профессор

\_\_\_\_\_ Резников В.А.

« 29 » \_\_\_\_\_ августа \_\_\_\_\_ 2014 г.

**Гетерогенные равновесия**

**Программа лекционного курса, семинаров  
и самостоятельной работы студентов**

Курс 4-й, VII семестр

Учебно-методический комплекс

Новосибирск 2014

Учебно-методический комплекс предназначен для студентов IV курса факультета естественных наук, направление подготовки 020100 «Химия (бакалавр)». Комплекс содержит программу курса и проекции фазовых диаграмм одно-, двух- и трехкомпонентных систем, необходимые для самостоятельной работы. Может быть полезным для студентов и аспирантов других вузов химического профиля.

Составители  
Комаров В.Ю., ст.преп.,  
Сухих Т.С.

Учебно-методический комплекс разработан в рамках Программы развития НИУ-НГУ.

© Новосибирский государственный  
университет, 2014

## Оглавление

Аннотация рабочей программы .....	4
<b>1. Цели освоения дисциплины .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Место дисциплины в структуре ООП .....</b>	<b>5</b>
<b>3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Гетерогенные равновесия» .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Структура и содержание дисциплины .....</b>	<b>8</b>
Рабочий план (по неделям семестра) .....	9
Программа курса лекций .....	11
I. Введение в термодинамику равновесных гетерогенных систем ....	11
II. Однокомпонентные системы .....	11
III. Двухкомпонентные изобарические системы .....	11
IV. Двухкомпонентные системы .....	12
V. Способы отображения концентрационного пространства в многокомпонентных системах .....	12
VI. Трехкомпонентные изобарические системы .....	12
<b>5. Образовательные технологии .....</b>	<b>13</b>
<b>6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины .....</b>	<b>13</b>
Примеры контрольных работ .....	15
<b>7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины .....</b>	<b>19</b>
<b>8. Материально-техническое обеспечение дисциплины .....</b>	<b>19</b>
<b>9. Проекция фазовых диаграмм реальных и модельных систем для семинарских занятий и самостоятельной работы .....</b>	<b>20</b>
I. P-T фазовые диаграммы реальных однокомпонентных систем .....	20
II. Проекция фазовых диаграмм двухкомпонентных систем .....	23
III. Проекция фазовых диаграмм трехкомпонентных систем .....	27

## Аннотация рабочей программы

Дисциплина «Гетерогенные равновесия» относится к вариативной части профессионального (специального) цикла ООП по направлению подготовки «020100 ХИМИЯ», уровень подготовки – бакалавр. Дисциплина реализуется на Факультете естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Новосибирский национальный исследовательский государственный университет" (НГУ) кафедрой неорганической химии.

Содержание дисциплины включает рассмотрение следующих разделов: общие вопросы термодинамики гетерогенных систем; строение фазовых диаграмм одно-, двух- и трехкомпонентных систем; физико-химический анализ равновесных систем.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общекультурных компетенций: ОК-6, ОК-9, ОК-13, ОК-15; профессиональных компетенций: ПК-1, ПК-2, ПК-3.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, семинарские занятия, контрольные работы, консультации, самостоятельная работа студента.

Результатом прохождения дисциплины является итоговая оценка по пятибалльной шкале (экзамен).

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль. Формой текущего контроля при прохождении дисциплины «Гетерогенные равновесия» является выполнение домашних заданий и написание контрольных работ.

В зависимости от результатов работы в течение семестра студент имеет право на получение оценки без экзамена (оценки-«автомата»). Без экзамена возможно получить оценки «хорошо» и «отлично», при этом обязательным условием является отсутствие за контрольные работы оценок ниже 4 по пятибалльной шкале. Для получения оценки «отлично» и «хорошо» необходимо иметь за контрольные работы средний балл не менее 4,75 и 4,00 соответственно. В пограничных случаях при выставлении оценки-«автомата» учитывается активность студента на семинарских занятиях и качество выполнения домашних работ.

Итоговый контроль. Итоговую оценку за семестр (положительную или неудовлетворительную) студент может получить на экзамене в конце семестра.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 академических часов. Программой дисциплины предусмотрены 36 часов лекционных и 54 часов семинарских занятий, 12 часов на контрольные работы, 16 часов самостоятельной работы студентов и 26 часов на выполнение домашних заданий, а также 36 часов на подготовку и прохождение экзамена.

## 1. Цели освоения дисциплины

Основной целью освоения дисциплины «Гетерогенные равновесия» является овладение студентами основами методов проведения физико-химического анализа и способов представления физико-химической информации для равновесных систем. Задача дисциплины – показать взаимосвязь различных подходов в представлении и анализе физико-химической информации. Основной акцент делается на общие особенности в строении фазовых диаграмм одно- и многокомпонентных систем. Рассматриваются возможные варианты применения полученных знаний при планировании химического эксперимента, разработке методов синтеза и определении термодинамических и физико-химических свойств веществ.

Курсы по гетерогенным равновесиям и физико-химическому анализу входят в список стандартных химических курсов, предлагаемых университетами Европы и США, а также в ряде ведущих вузов России, таких как МГУ и СПбГУ. Построение курса позволяет последовательно освоить основные элементы и правила их сочетания в фазовых диаграммах одно-, двух- и трехкомпонентных систем. Вывод основывается на фундаментальных принципах химической термодинамики, а логика построения позволяет разобраться в диаграммах систем более высокой компонентности. Там, где это уместно, наряду с общими закономерностями рассматриваются частные правила (например, законы Коновалова и Вревского) и особенности поведения реальных систем. В рамках курса демонстрируется возможность применения компьютерных программ для визуализации и анализа фазовых диаграмм различной сложности и использование справочной литературы и электронных баз данных для поиска физико-химической информации по равновесным гетерогенным системам.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Гетерогенные равновесия» относится к вариативной части профессионального (специального) цикла ООП по направлению подготовки «020100 ХИМИЯ», уровень подготовки – бакалавр.

Дисциплина «Гетерогенные равновесия» опирается на следующие дисциплины данной ООП:

- Математический анализ;
- Высшая алгебра (линейная алгебра);
- Физика (статистическая физика);
- Неорганическая химия (строение и реакционная способность неорганических соединений);
- Физическая химия (химическая термодинамика, фазовые диаграммы);

- Органическая химия (строение молекул, изомерия);
- Химическая термодинамика.

Результаты освоения дисциплины «Гетерогенные равновесия» используются в следующих дисциплинах данной ООП:

- Теоретические и экспериментальные методы исследования в неорганической химии;
- Функциональные материалы;
- Соединения включения;
- Физические методы исследования твердых тел;
- Кинетика гетерогенных реакций;
- Физико-химическая механика и механохимия;
- Геохимия.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Гетерогенные равновесия»

- **Общекультурные компетенции:**
  - *использует основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применяет методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-6);*
  - *владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, имеет навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ОК-9);*
  - *настойчив в достижении цели с учетом моральных и правовых норм и служебных обязанностей (ОК-13);*
  - *обладает способностью в условиях развития науки и техники к критической переоценке накопленного опыта и творческому анализу своих возможностей (ОК-15).*
- **Профессиональные компетенции:**
  - *понимает сущность и социальную значимость профессии, основных перспектив и проблем, определяющих конкретную область деятельности (ПК-1);*
  - *владеет основами теории фундаментальных разделов химии (неорганической, аналитической, органической, физической, химии высокомолекулярных соединений, биохимии, химической технологии) (ПК-2);*

- *обладает способностью применять основные законы химии при обсуждении полученных результатов, в том числе с привлечением информационных баз данных (ПК-3).*

**В результате освоения дисциплины обучающийся должен:**

- *иметь представление о базовых понятиях теории гетерогенных равновесий: уравнение состояния, фаза, независимый компонент, степень свободы, вариантность, фазовая диаграмма;*
- *уметь пользоваться правилом фаз Гиббса для вывода допустимых состояний равновесия многокомпонентной гетерогенной системы;*
- *уметь строить сечения фазовой диаграммы по набору проекций, предлагать варианты строения фазовой диаграммы по известному фрагменту и проводить верификацию экспериментальных данных.*

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, всего 180 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекция	Семинарские занятия	Контр. работа	Домашние задания	Самост. работа	Экзамен	
1	Введение в термодинамику равновесных гетерогенных систем	7	1	4	2		1	2		
2	Однокомпонентные системы	7	2	4	2		1	2		
3	Двухкомпонентные изобарические системы	7	3–4	4	8	3	2	2	<b>Контрольная работа 1</b>	
4	Двухкомпонентные системы	7	5–9	10	20	3	10	4	<b>Контрольная работа 2</b>	
5	Способы отображения концентрального пространства в многокомпонентных системах	7	10-12	4	8	3	2	2	<b>Контрольная работа 3</b>	
6	Трехкомпонентные изобарические системы	7	13–15	10	14	3	10	4	<b>Контрольная работа 4</b>	
		7						30	6	<b>Экзамен</b>
	<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>54</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>46</b>	<b>6</b>	

Рабочий план (по неделям семестра).

Неделя	Темы занятий
<b>СЕНТЯБРЬ</b> 1-я неделя	<b>Семинар 1.</b> Условия равновесия и устойчивости фаз. Построение фазовых диаграмм систем по известным уравнениям состояния.
2-я неделя	<b>Семинар 2.</b> Применение фазовых диаграмм однокомпонентных систем для предсказания изменения фазового состава при изменении Р и Т. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона.
3-я неделя	<b>Семинар 3.</b> Применение правила фаз Гиббса. Допустимые элементы фазовых диаграмм изобарических двухкомпонентных систем. Расчеты по фазовым диаграммам.
4-я неделя	<b>Семинар 4.</b> Критические явления в изобарических двухкомпонентных систем. Термический анализ. <b>Контрольная работа №1</b> (по темам семинаров 1–4).
<b>ОКТАБРЬ</b> 1-я неделя	<b>Семинар 5.</b> Строение РТх фазовой диаграммы двухкомпонентной системы без четырехфазных областей и трансформаций. Построение сечений по двум проекциям.
2-я неделя	<b>Семинар 6.</b> Трансформации в трехфазных областях. Точки Банкрофта. Конгруэнтные фазовые переходы.
3-я неделя	<b>Семинар 7.</b> Четырехфазные равновесия в двухкомпонентных системах. Система с эвтектической кристаллизацией и десублимацией. Система с перитектической кристаллизацией и десублимацией.
4-я неделя	<b>Семинар 8.</b> Правило лучей Скрейнемакерса. Система с эвтектической кристаллизацией и перитектической десублимацией. Система с «бинарной» фазой.
5-я неделя	<b>Семинар 9.</b> Критическое вырождение трехфазных областей двухкомпонентных систем. <b>Контрольная работа №2</b> (по темам семинаров 5–9).

<b>НОЯБРЬ</b> 1-я неделя	<b>Семинар 10.</b> Способы представления концентрационного пространства для трехкомпонентных систем. Применение правила фаз Гиббса. Особенности строения одно-, двух- и трехфазных областей изобарно-изотермических трехкомпонентных систем.
2-я неделя	<b>Семинар 11.</b> Анализ фазовых диаграмм изобарно-изотермических трехкомпонентных систем. Расчеты соотношения фаз в двух- и трехфазных областях.
3-я неделя	<b>Семинар 12.</b> Политермические проекции. Диаграммы систем без трехфазных областей и с одной трехфазной областью. <b>Контрольная работа №3</b> (по темам семинаров 10–12).
4-я неделя	<b>Семинар 13.</b> Диаграммы систем с четырехфазными равновесиями эвтектического и перитектического типа.
<b>ДЕКАБРЬ</b> 1-я неделя	<b>Семинар 14.</b> Система с полиморфным превращением в однокомпонентной подсистеме. Системы с бинарным соединением.
2-я неделя	<b>Семинар 15.</b> Системы с тройным соединением. Трансформации в трехфазных областях. Критическое вырождение трехфазных областей.
3-я неделя	<b>Контрольная работа №4</b> (по темам семинаров 13–15).

## Программа курса лекций

### I. Введение в термодинамику равновесных гетерогенных систем

Термодинамическая система, типы систем (открытая, закрытая, замкнутая) состояния термодинамической системы, параметры состояния. Физико-химическая система. Компонент, фаза. Характеристические функции, их взаимосвязь. Условия термодинамического равновесия. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Критическая фаза. Критерии устойчивости фазы. Стабильное, метастабильное и лабильное состояния системы применительно к идеальным и реальным системам. Уравнение состояния фазы: типы, примеры (уравнение Менделеева-Клапейрона, Ван-дер-Ваальса, виральные уравнения).

### II. Однокомпонентные системы

Простейшая РТ диаграмма состояния. Критические явления в однокомпонентных системах. Экспериментальные методы исследования и вывод фазовой диаграммы из зависимостей  $G_m(P, T)$ . Области стабильного и метастабильного существования фаз. Спинодаль. Понятие вариантности для однокомпонентной системы. Диаграммы состояние – свойство ( $PTV_m$ ,  $PTS_m$ ,  $TV_mS_m$ ), анализ проекций. Конода, бинадальная кривая. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона, вывод и применение. Энантиотропные и моноотропные полиморфные переходы, правило ступеней Оствальда. Диаграммы состояния реальных систем (He, C, S, Fe, Cs, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>). Системы, не являющиеся однокомпонентными (изотопный эффект, электронные и спиновые изомеры, структурные и геометрические изомеры).

### III. Двухкомпонентные изобарические системы

Независимые (брутто-) и детальные компоненты. Простейшие способы отображения концентрационного пространства в двухкомпонентных системах. Вывод простейшей Тх диаграммы состояния для системы с идеальными растворами. Правило фаз Гиббса. Допустимые гетерогенные состояния для двухкомпонентных изобарических систем. Получение информации о составе и соотношении фаз в двух- и трехфазных двухкомпонентных системах на основании фазовой диаграммы, правило рычага. Эвтектические (эвтектоидные), перитектические (перитектоидные), метатектические превращения, уравнения фазовых реакций. Отклонения от идеальности: регулярные растворы, системы с расслоением. Уравнения бинадали и спинодали. Синтектическое, монотектическое превращения. Конгруэнтные и инконгруэнтные превращения. Азеотропы. Типы диаграмм с твердыми растворами по Розебому. Трансформационные переходы фазовых равновесий: взаимные переходы эвтектического и перитектического, синтектического и монотектического равновесий.

Направления моновариантных превращений, нормальная и ретроградная растворимость. Законы Коновалова и Вревского. Системы с бинарными соединениями. Понятие о дальтонидах и бертоллидах. Метод физико-химического анализа при изучении диаграмм плавкости. Метод термического анализа, треугольники Таммана.

#### **IV. Двухкомпонентные системы**

Допустимые гетерогенные состояния для двухкомпонентных систем. Описание РТх фазовой диаграммы набором проекций. Граничные поверхности двухфазных областей. РТ, Рх и Тх проекции трехфазных областей и критических кривых. Проекция четырехфазных областей. Вывод расположения моновариантных лучей в окрестности квадрупольной точки в РТ-проекции по методу Скрейнемаккера. Концентрационные вырождения, понятие об индифферентных и сингулярных фазах. Дифференциальное уравнение Ван-дер-Ваальса–Сторонкина. Фазовые диаграммы систем с расслоением, критические коноды трехфазных областей.

#### **V. Способы отображения концентрационного пространства в многокомпонентных системах**

Способы изображения пространства составов по Гиббсу, Розебому, Скрейнемаккеру и Йенеке. Определение относительного количества фаз по изобарно-изотермической диаграмме состояния. Применимость правила рычага. Отображение граничных поверхностей дивариантных областей с помощью изоплет. Способы отображения моновариантных областей изобарных систем с помощью политермической и концентрационной проекции.

#### **VI. Трехкомпонентные изобарические системы**

Допустимые гетерогенные состояния для изобарических трехкомпонентных систем. Типы четырехфазных реакций. Критические явления и трансформации в трехкомпонентных системах. Исследование трехкомпонентных систем методом термического анализа. Метод остатков Скрейнемаккера при изучении изотермической растворимости. Субсолидусная триангуляция систем, метод сигнификантных сечений. Тройные взаимные системы эвтектического и перитектического типа как частные сечения четырехкомпонентных систем.

## 5. Образовательные технологии

Виды/формы образовательных технологий. Преподавание курса ведется в виде чередования лекций и семинарских занятий. Семинарские занятия в основном построены на практическом применении лекционного материала применительно к фазовым диаграммам реальных или модельных систем. Для успешного проведения анализа диаграмм требуется использование навыков работы с диаграммами состояния более простых (ограничивающих) систем, что способствует более прочному усвоению знаний. Также имеются задачи, в которых студенты должны продемонстрировать знания теоретического материала для анализа «нестандартных» диаграмм, выявления ошибок в модельных диаграммах и диаграммах, построенных на основании экспериментальных данных.

На семинарских занятиях реализуется интерактивная форма обучения. В зависимости от ситуации возможно обсуждение решаемых задач как в форме коллективных дискуссий, так и в форме диалога. Там, где это является возможным, проводятся параллели между разбираемыми задачами и практическим опытом студентов.

В случае возникновения у студента трудностей с усвоением лекционного материала или решением задач предусмотрены также индивидуальные занятия во внеучебное время.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Формой текущего контроля при прохождении дисциплины «Гетерогенные равновесия» является проверка степени выполнения домашних и контрольных работ.

В случае отсутствия на контрольной работе по уважительной причине (наличие медицинской справки) контрольную работу можно переписать в течение недели от окончания срока действия справки. Время и место обговаривается с преподавателем.

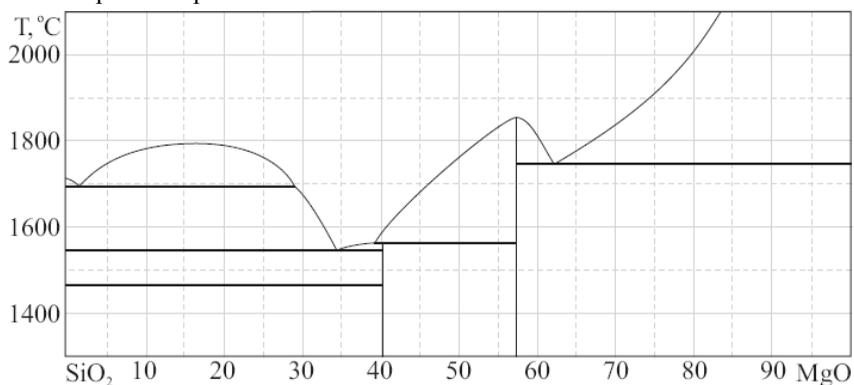
В зависимости от результатов работы в течение семестра студент имеет право на получение оценки без экзамена (оценки-«автомата»). Для получения оценки «отлично» и «хорошо» необходимо иметь за контрольные работы средний балл не менее 4,75 и 4,00 соответственно. В пограничных случаях при выставлении оценки-«автомата» учитывается активность студента на семинарских занятиях и качество выполнения домашних работ. Оценка-«автомат» «удовлетворительно» не выставляется.

В случае, если по результатам работы в семестре оценка-«автомат» не выставлена, либо она не устраивает студента, итоговую оценку за семестр (положительную или неудовлетворительную) студент может получить на

экзамене в конце семестра. При проведении экзамена используются задачи, аналогичные задачам из контрольных работ. Применительно к решенным задачам производится устное собеседование со студентом с целью выяснить степень усвоения теоретических вопросов.

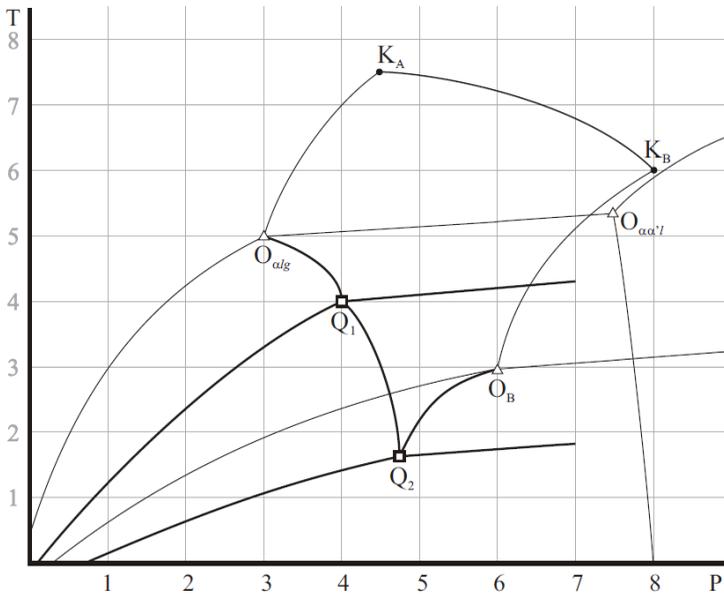
Учебно-методическое обеспечение дисциплины. При подготовке к лекциям и семинарам студенты могут использовать рекомендованные преподавателем литературные источники и Интернет-ресурсы, а также любую доступную справочную литературу. Для повышения степени усвоения материала рекомендуется самостоятельное освоение (по подготовленному краткому описанию) и использование специально подобранного для данного курса программного обеспечения (Deep View, DiagPlot).

Примеры контрольных работ  
Контрольная работа №1.



1. Найти и выделить цветом *все* однофазные поля на диаграмме плавкости. Твердые фазы обозначить заглавными буквами латинского алфавита.
2. В соответствии с введенными обозначениями фаз обозначить все двух- и трехфазные области.
3. Определить составы *всех* твердых фаз (на диаграмме и далее в заданиях концентрации даны в массовых процентах).
4. Указать вариантность *всех* фазовых полей на диаграмме.
5. Записать уравнения фазовых превращений и назвать тип *всех* трехфазных областей.
6. Построить ожидаемые треугольники Таммана для *всех* трехфазных областей.
7. Определить какие фазы, какого состава и в каком количестве образуются при охлаждении 100 г жидкости, содержащей 90% SiO<sub>2</sub> до T=1750 °C.
8. Построить диаграммы равновесного охлаждения для термодинамических систем с содержанием MgO 29%, 32%, 34%, 36% и 38% от T=1800 °C до T=1400 °C.

## Контрольная работа №2.



Концентрационные инварианты фазовой диаграммы:

$\alpha, \alpha'$  – ограниченные твердые растворы;

$\beta, \gamma$  – фазы постоянного состава ( $x(\beta)=1.00, x(\gamma)=0.40$ )

Q1:  $\alpha\gamma l g$ ;  $x(\alpha)=0.35, x(l)=0.45, x(g)=0.50$ ;  $\alpha\gamma g, T=0: x(\alpha)=0.20, x(g)=0.45$ ;

Q2:  $\gamma l g \beta, x(l)=0.50, x(g)=0.60$ ;  $\gamma g \beta, T=0: x(g)=0.70$ ;

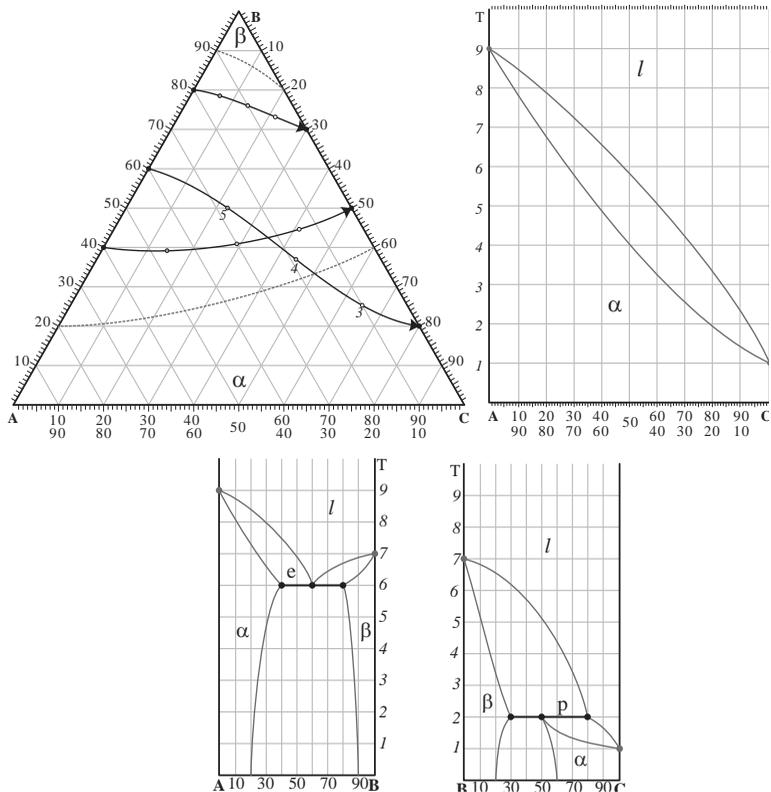
Q3:  $\alpha' \alpha' \gamma l, x(\alpha')=0.20, x(\alpha)=0.30, \alpha' \gamma l, P=9: x(\alpha')=0.10, x(l)=0.50$ ;

$x(l)=0.45$ ;  $\gamma l \beta, P=9: x(l)=0.80$ ;

$\alpha \beta, T=0, P=9: x(\alpha)=0.05$ .

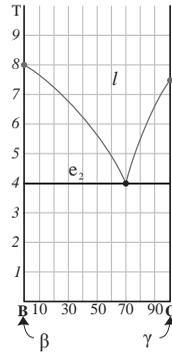
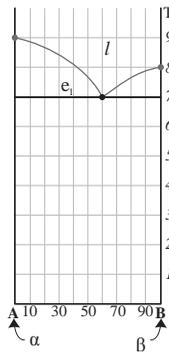
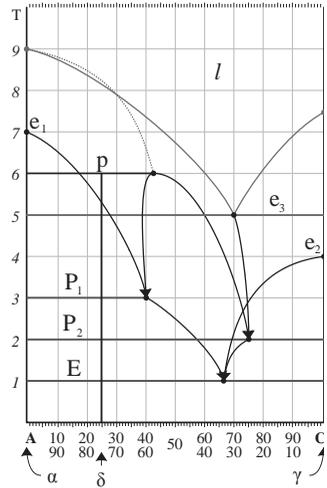
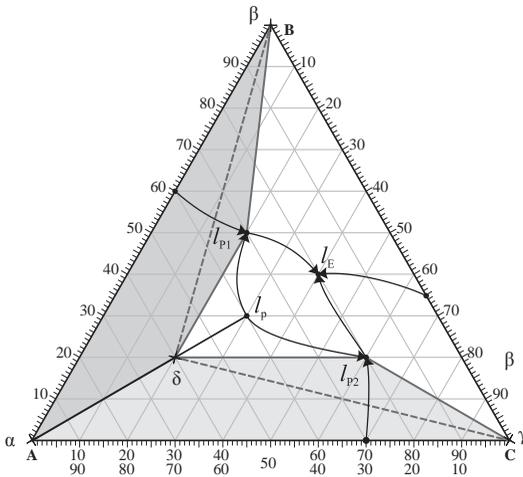
1. Для заданного фрагмента P–T проекции фазовой диаграммы определить сосуществующие фазы в моновариантных равновесиях.
2. Достроить область P–T проекции при  $P > 7$  с учетом полиморфных превращений в предположении отсутствия трансформаций в трехфазных областях.
3. По P–T проекции и заданным концентрационным инвариантам построить: (а) P–x проекцию фазовой диаграммы; (б) граничную изотерму  $T=0$ ; (с) граничные изобары  $P=0$  и  $P=9$ ;
4. Для каждой трехфазной области построить отдельную P–x проекцию.
5. Построить P–T и P–x проекции граничных поверхностей между двухфазными областями, содержащими  $\gamma$ , и однофазными областями.
6. Построить изотермические сечения  $T=4.5, T=7$ .
7. Построить изобарические сечения  $P=1, P=3.5$ .
8. Построить изоконцентрационные сечения  $x=0.08, x=0.25$ .

### Контрольная работа №3.



1. Выписать все одно-, двух- и трехфазные области.
2. Обозначить фазы, составы которых изменяются вдоль сопряженных линий трехфазной области.
3. Построить поликонцентрационную проекцию фазовой диаграммы по 1-му способу Розебома (прямой угол соответствует 100%-му содержанию компонента **B**)
4. Используя все имеющиеся данные построить политермическую проекцию фазовой диаграммы.
5. Построить изотермические сечения при  $T=3.5; 7.5$ .
6. Построить политермические сечения  $AB(65:35)-BC(35:65)$ ;  $B-AC(80:20)$
7. Для  $T=3.5$  определить:
  - а. составы всех фаз трехфазной области, находящихся в равновесии;
  - б. соотношение, в котором должны быть взяты компоненты для получения смеси, состоящей из 100г каждой из трех фаз.

## Контрольная работа №4.



1. Выписать одно-, двух-, трех- и четырехфазные области. Отметить выродившиеся
2. Записать схему моно- и инвариантных фазовых областей и уравнения фазовых реакций для последних
3. Построить изотермические сечения при  $T=6$ ;  $3.5$
4. Построить политермические сечения **B-AC(50:50)**; **AB(20:80)-AC(30:70)**.
5. Построить  $T$ - $\tau$  кривую равновесного охлаждения от системы с содержанием компонентов **A 40%**, **B 20%** и **C 40%**.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### *а) основная литература:*

1. Халдояниди К.А. Фазовые диаграммы гетерогенных систем с трансформациями. Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2004.
2. Сторонкин А.В. Термодинамика гетерогенных систем. Части I и II. Ленинград: ЛГУ, 1967.
3. Новоселова А.В. Методы исследования гетерогенных равновесий. М: Высшая школа, 1980.

### *б) дополнительная литература:*

1. Скрейнемакерс Ф.А. Нонвариантные моновариантные и дивариантные равновесия. М: ИЛ, 1948.
2. Tonkov E.Yu., Ponyatovsky E.G. Phase Transformations of Elements Under High Pressure. CRC Press, 2005.
3. Посыпайко В.И., Алексеева Е.А. Диаграммы плавкости солевых систем. Справочник. М: Химия, 1977.
4. Кафаров В.В., Справочник по растворимости. Тома I–III. М.-Л.: АН СССР, 1961.
5. Hillert M. Phase Equilibria, Phase Diagrams and Phase Transformations. Cambridge: Univ. Press, 2008.
6. Zhao J.-C. Methods for Phase Diagram Determination. Elsevier, 2007.
7. Аносов В.Я., Погодин С.А. Основные начала физико-химического анализа. М.-Л.: АН СССР, 1947.

### *в) Интернет-ресурсы:*

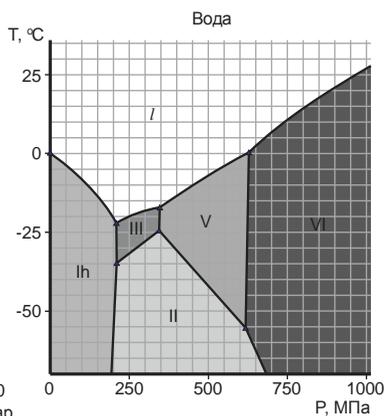
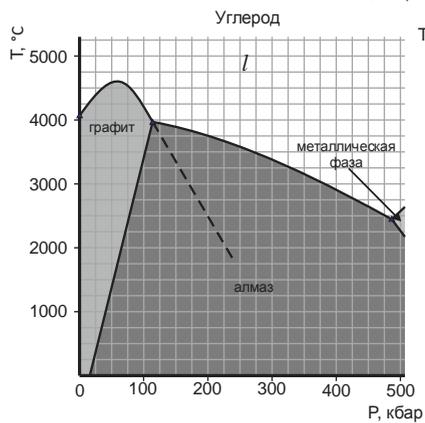
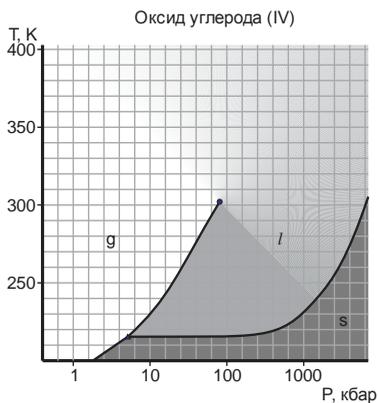
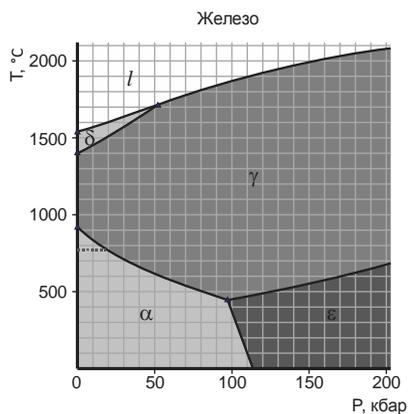
1. The Landolt–Börnstein Database,  
<http://www.springermaterials.com/docs/bookshelf.html>

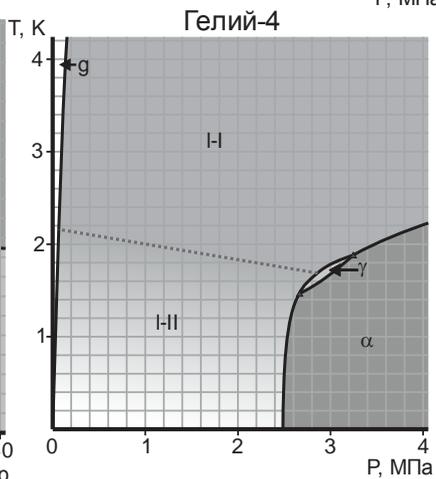
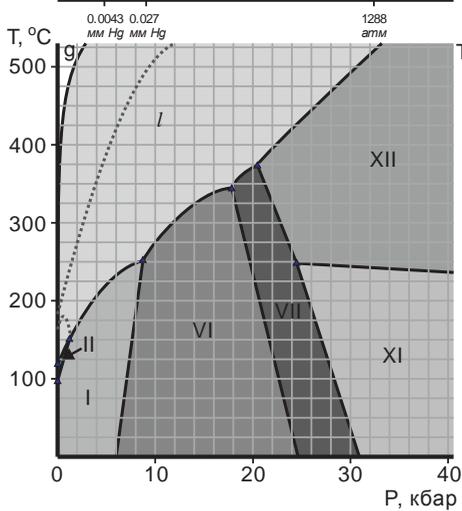
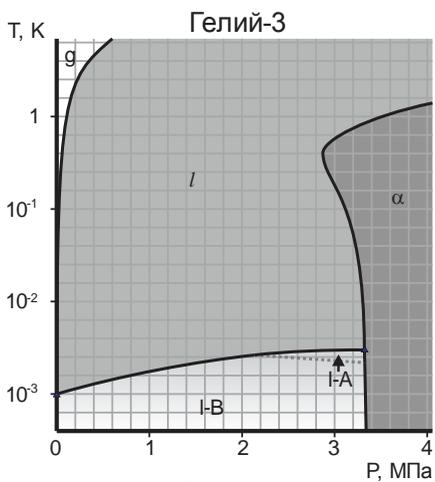
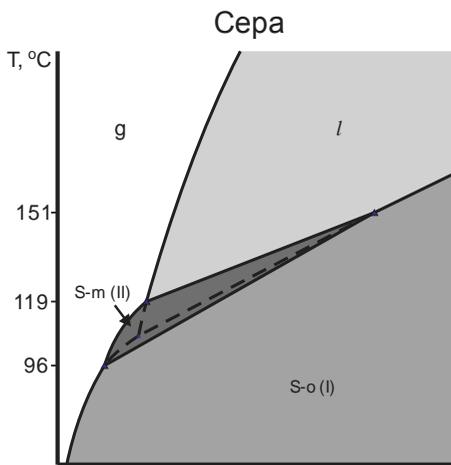
## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- В качестве технического обеспечения лекционного процесса используется меловая доска, ноутбук, мультимедийный проектор.
- Для демонстрации трехмерных моделей фазовых диаграмм используется программа Deer View.
- Для визуализации табличных данных и анализа фазовых диаграмм используется программа DiagPlot.
- Проведение семинарских занятий, контрольных работ и экзамена обеспечивается печатным раздаточным материалом.

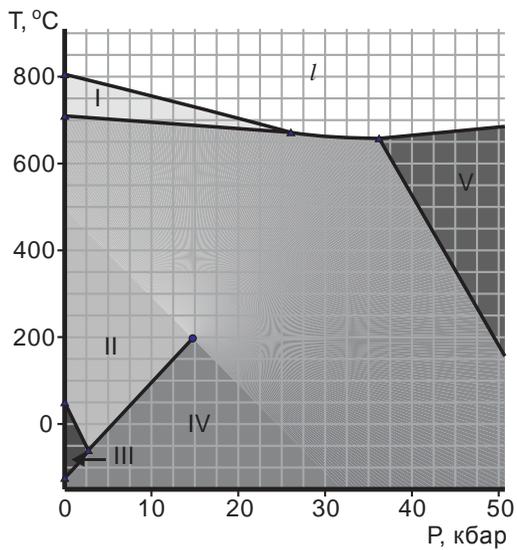
## 9. Проекция фазовых диаграмм реальных и модельных систем для семинарских занятий и самостоятельной работы

### I. P-T фазовые диаграммы реальных однокомпонентных систем

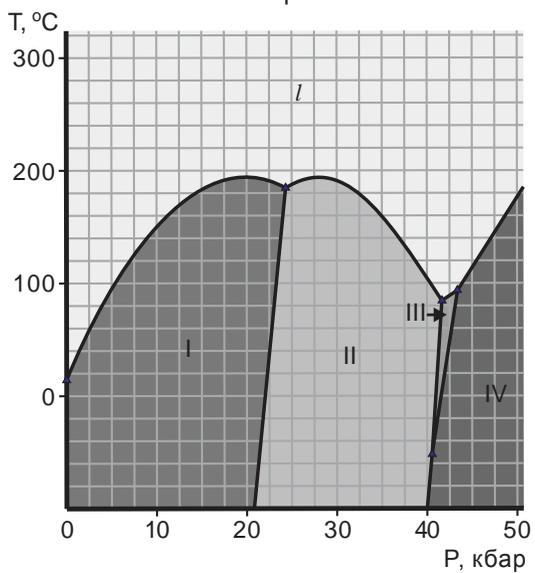




### Церий

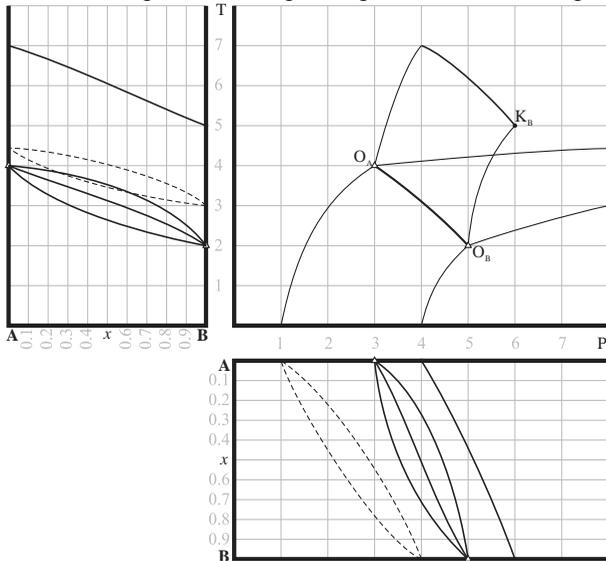


### Цезий

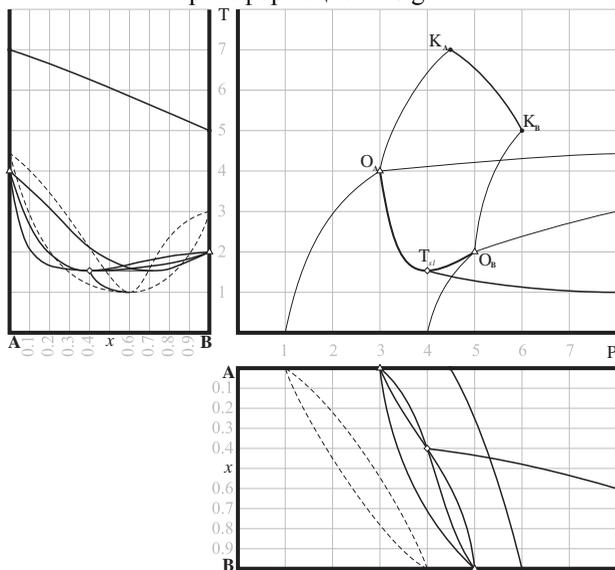


## II. Проекция фазовых диаграмм двухкомпонентных систем

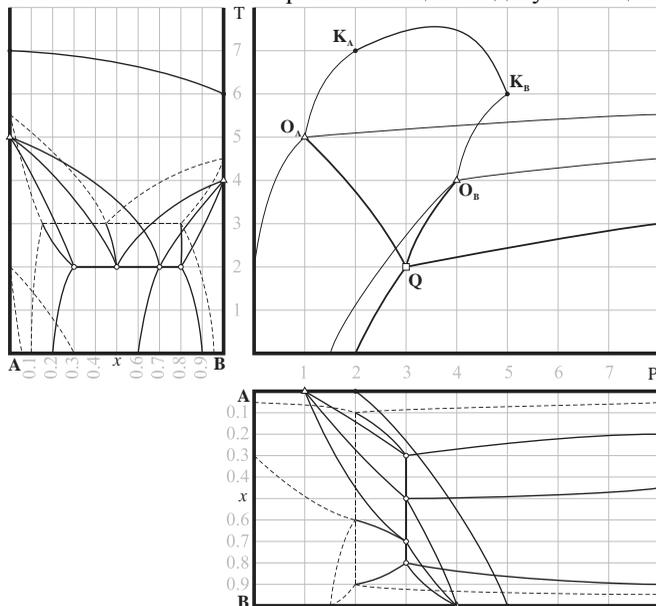
Система с неограниченной растворимостью во всех фазах



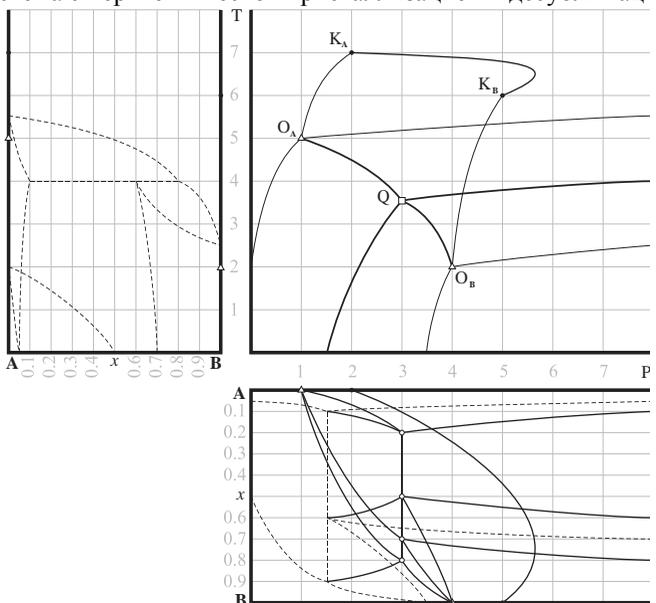
Система с неограниченной растворимостью во всех фазах и трансформацией в  $slg$



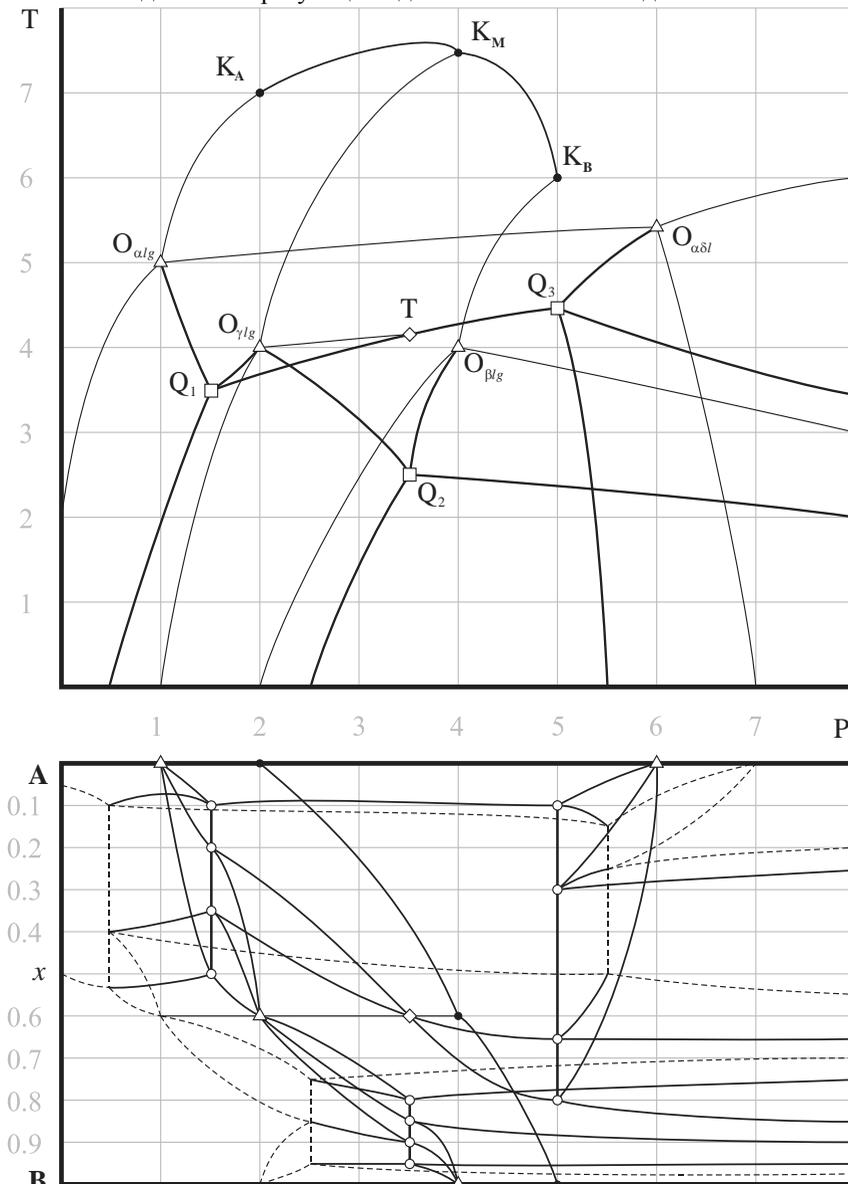
Система с эвтектической кристаллизацией и десублимацией



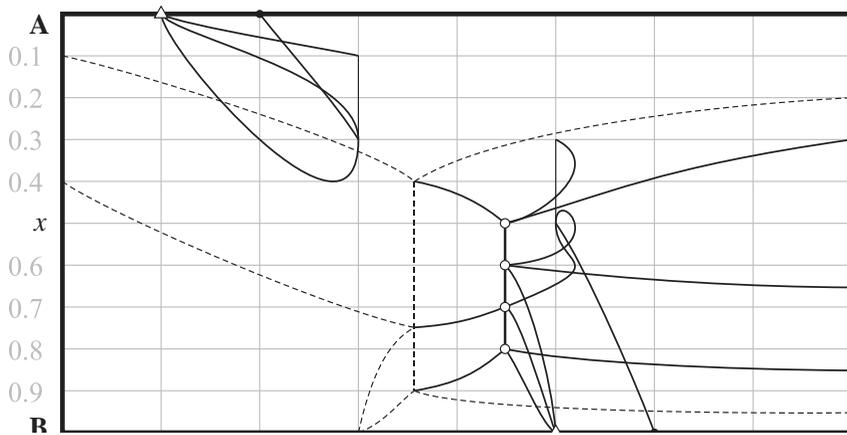
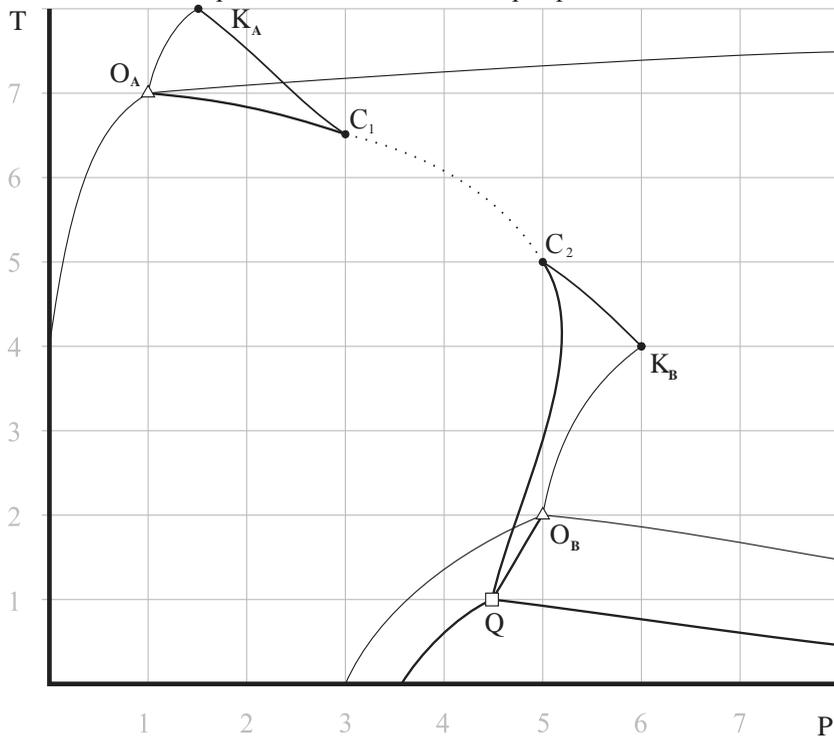
Система с перитектической кристаллизацией и десублимацией



Система с “бинарным соединением” и полиморфизмом  
 одной из образующих однокомпонентных подсистем

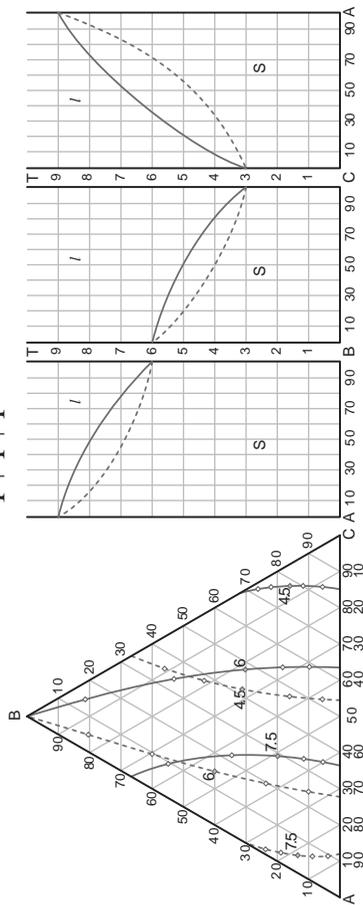


Система с критическим окончанием трехфазных областей

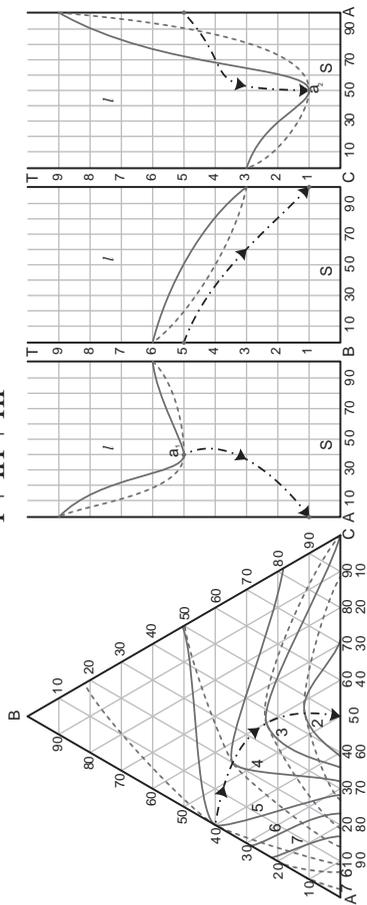


### III. Проекция фазовых диаграмм трехкомпонентных систем

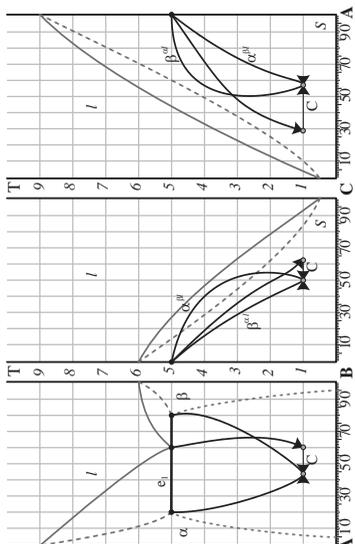
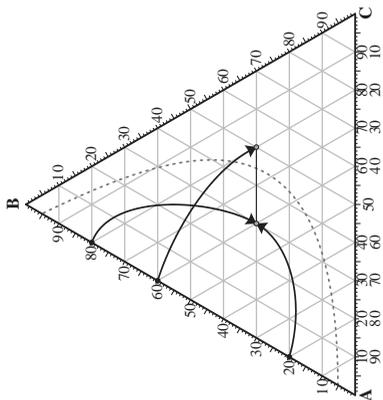
I + I + I



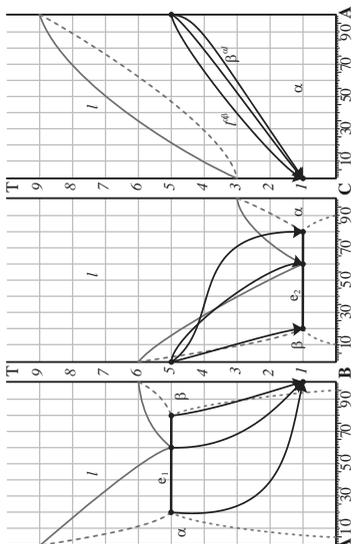
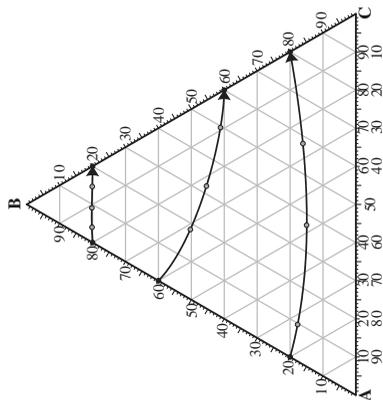
I + III + III



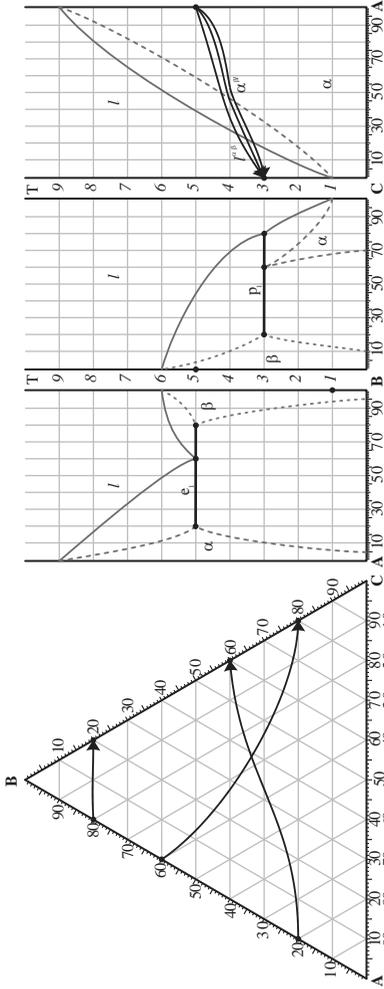
I + I + V



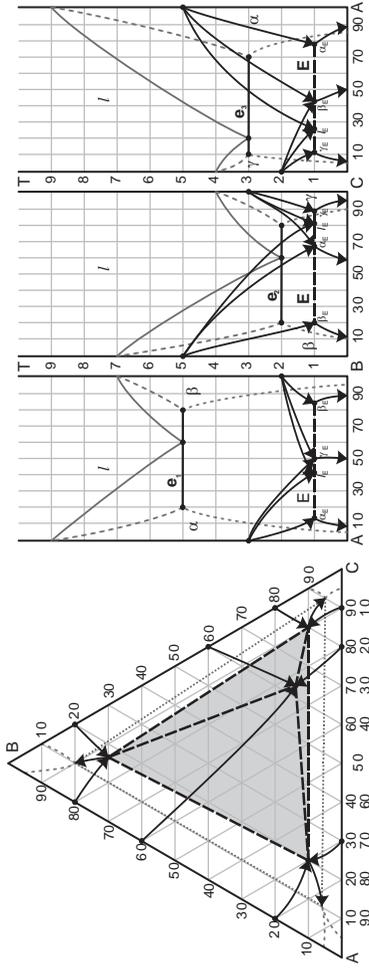
I + V + V

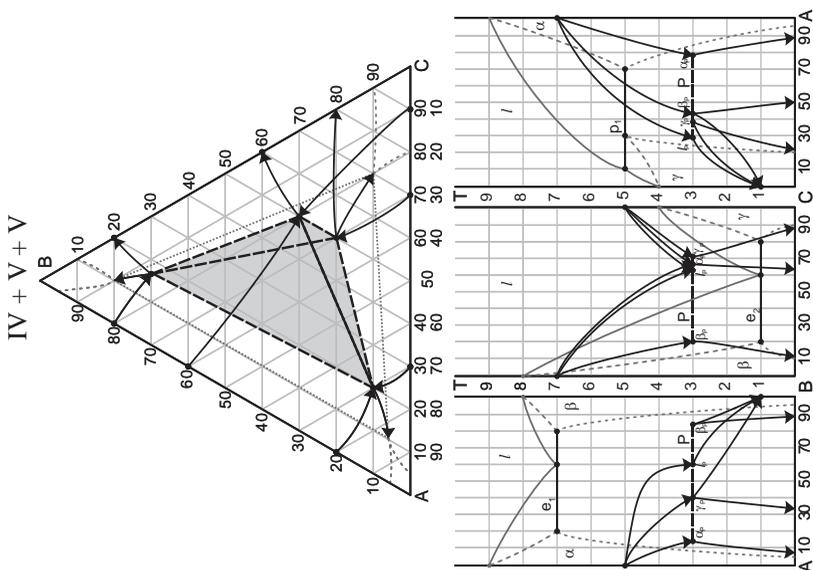


I + IV + V



V + V + V





Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и с ОС ВПО, принятым в ФГАОУ ВО Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, с учетом рекомендаций ООП ВПО по направлению «020100 ХИМИЯ».

Авторы:

Комаров Владислав Юрьевич, к.х.н., ст. преподаватель кафедры неорганической химии ФЕН, н.с. ИНХ СО РАН

Сухих Таисия Сергеевна, инж. I кат. ИНХ СО РАН

подпись

подпись

Программа одобрена на заседании кафедры неорганической химии "27" мая 2014 г.

Секретарь кафедры к.х.н.  Д.Г. Самсоненко