

Лабораторная работа
«Анализ двойных диаграмм»

Лабораторная работа «Анализ двойных диаграмм»

1. Общий анализ диаграммы состояния системы « $Ti - W$ ».
2. Для сплава, содержащего 40 % W :
 - описать процесс кристаллизации при очень медленном охлаждении и, пользуясь правилом фаз, построить кривую охлаждения с указанием фазовых превращений на всех участках кривой;
 - указать, из каких фаз будет состоять сплав при температуре $1200^{\circ}C$, состав фаз и их количество (вес) на 1 килограмм сплава.

Диаграмма состояния "титан - вольфрам"

T, °C

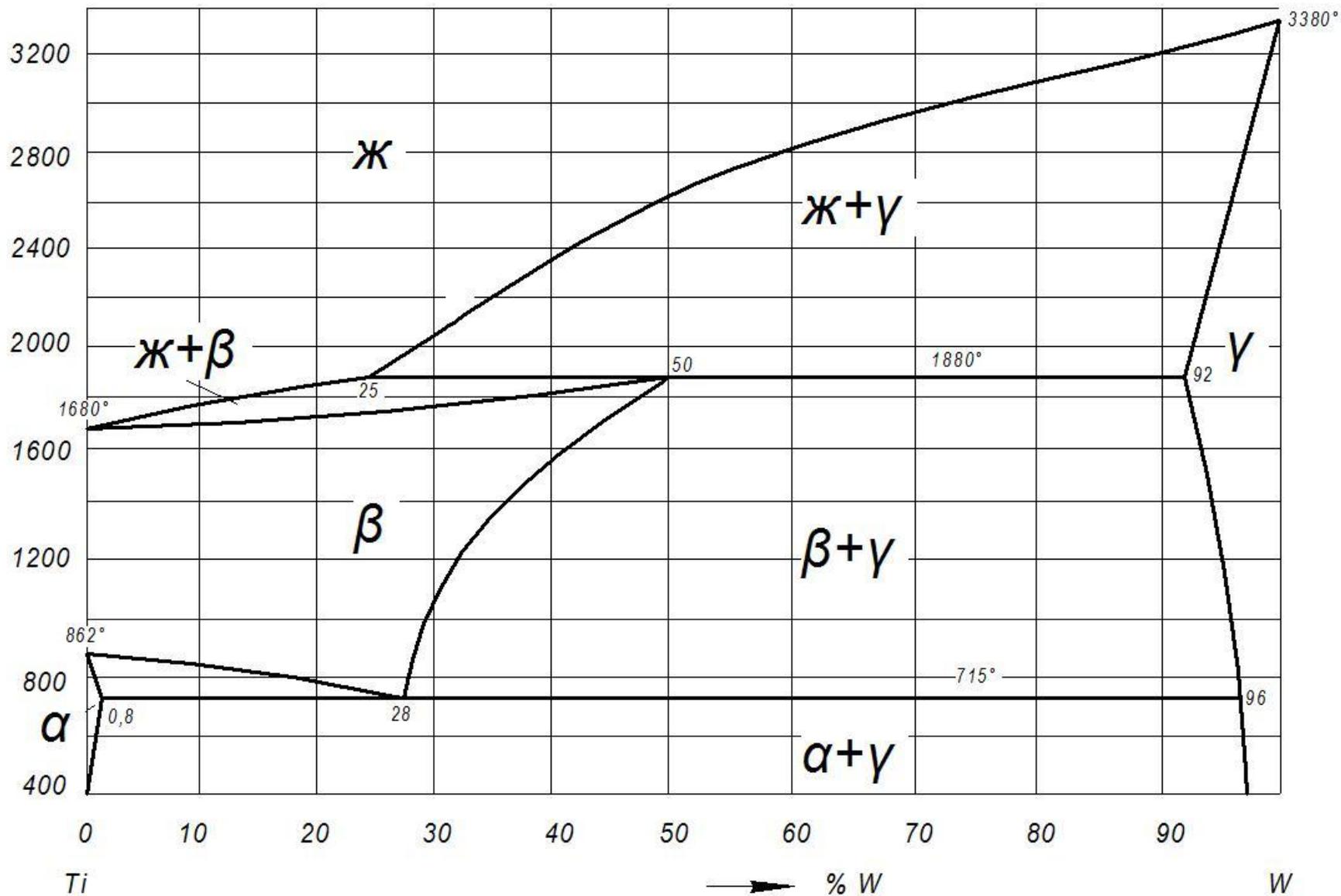


Диаграмма состояния представляет собой графическое изображение зависимости температур фазовых превращений в сплавах от их состава.

Цель изучения диаграмм состояния сплавов:

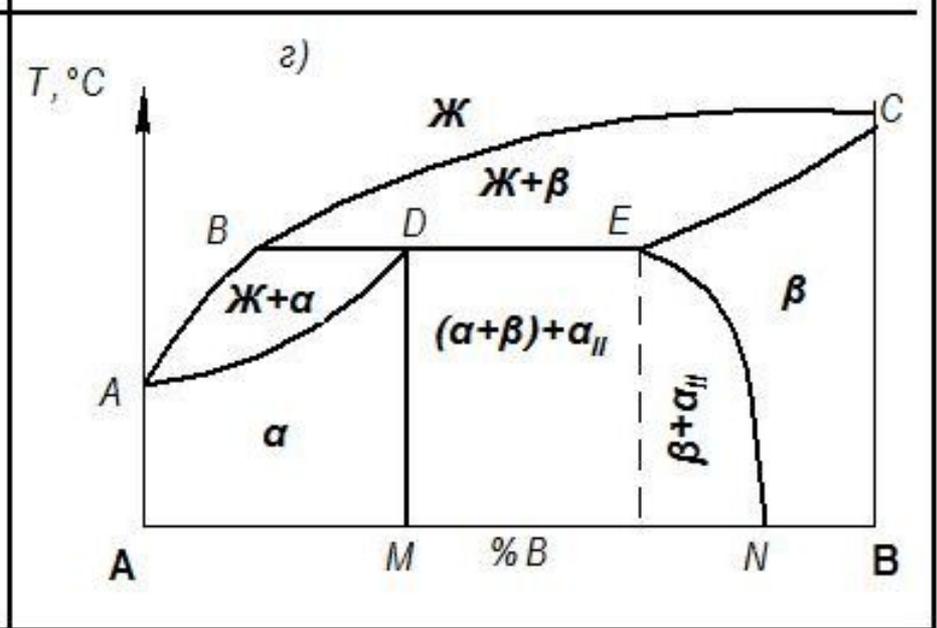
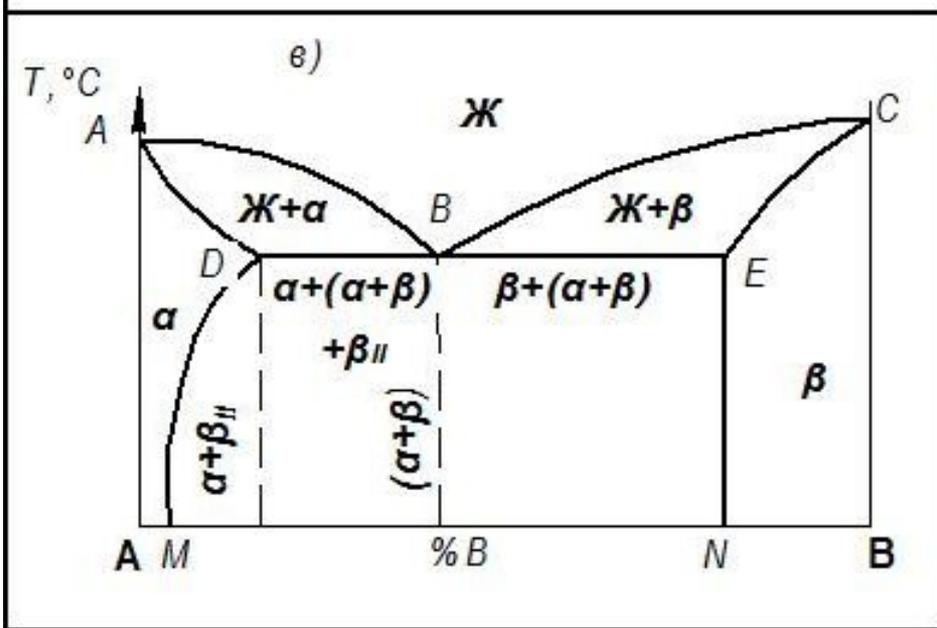
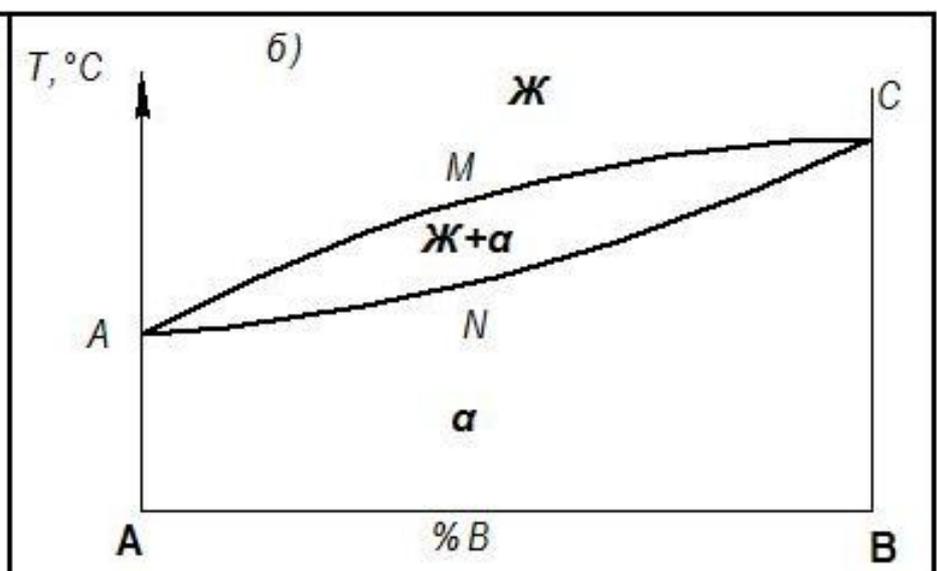
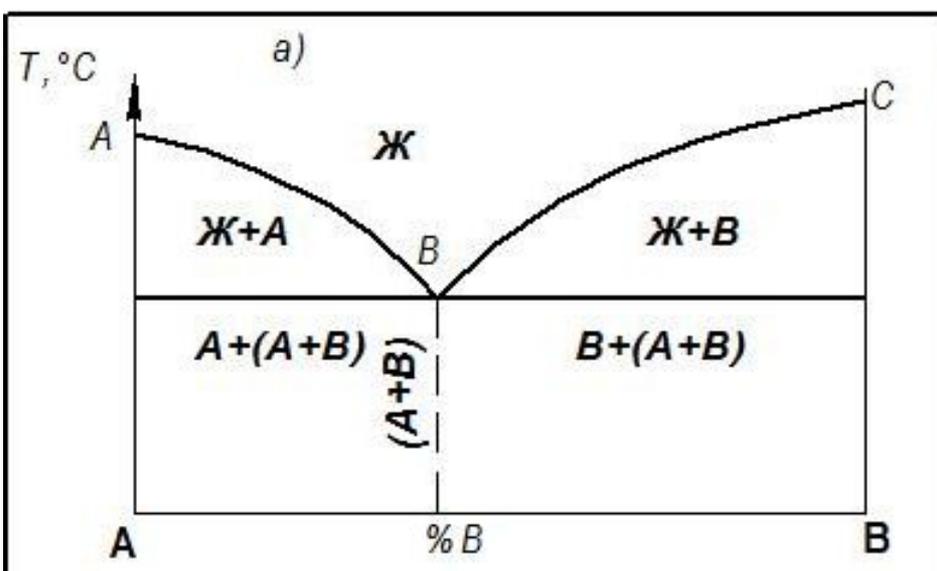
- научиться по диаграмме состояния устанавливать, какие процессы происходят в сплавах при их охлаждении, какие при этом образуются фазы и структуры сплавов разного состава;
- научиться анализировать процессы фазовых превращений в зависимости от изменения температуры сплава;
- выявлять взаимосвязь механических и технологических свойств сплавов от соответствующего фазового и структурного состояния.

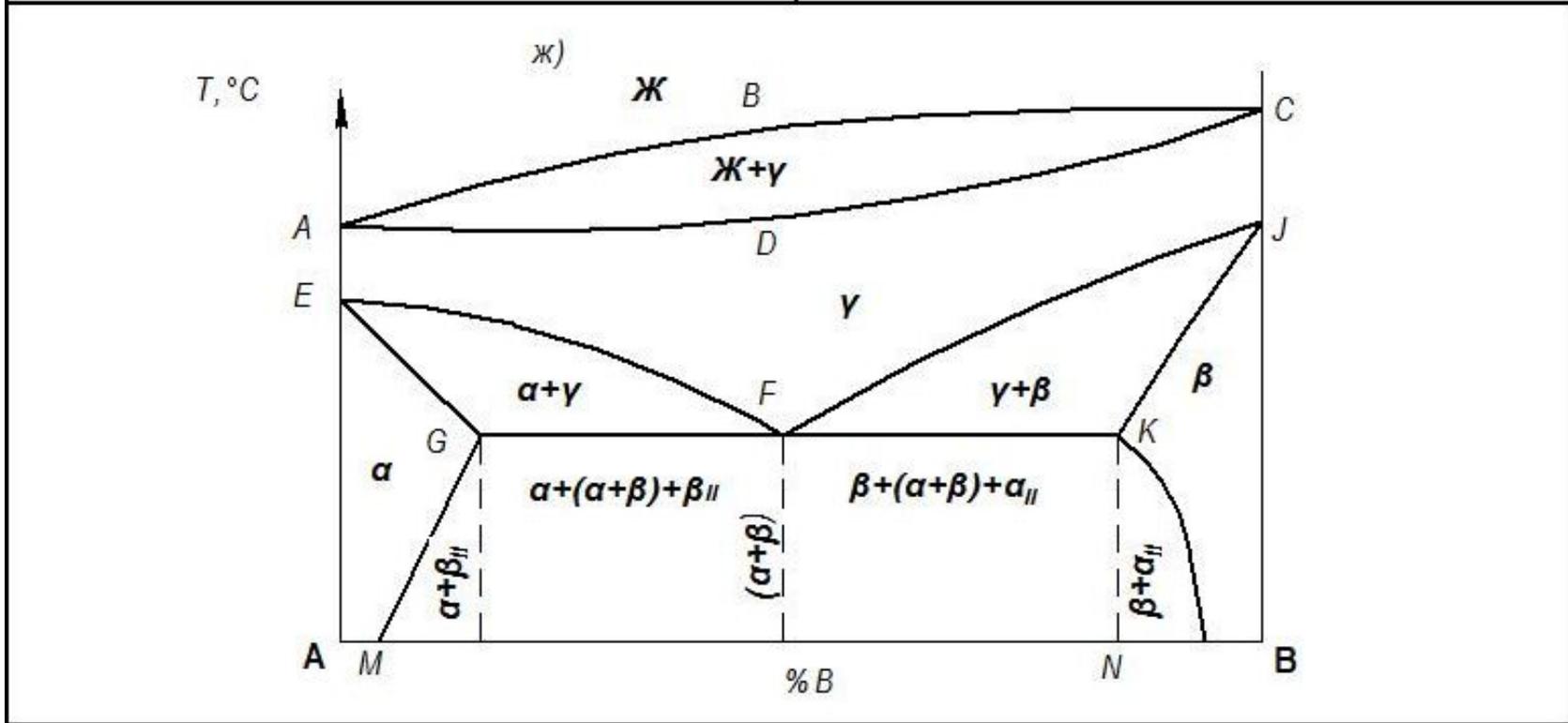
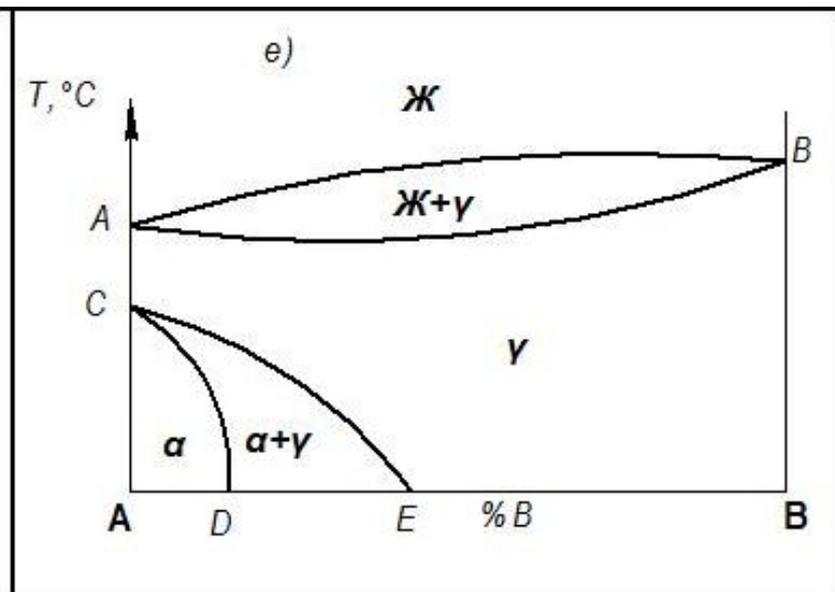
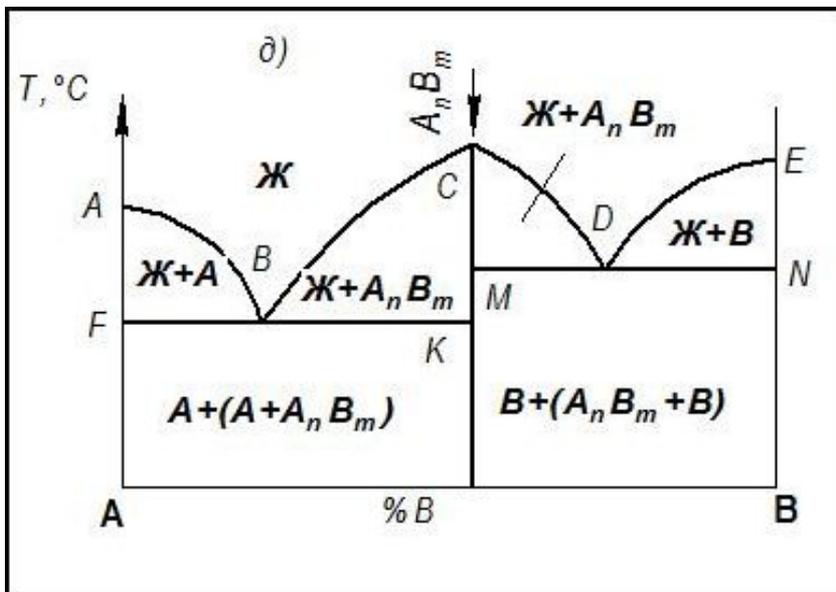
По диаграммам состояния можно устанавливать не только температуры фазовых превращений в сплавах любого состава, но и качество и количество фаз в разных областях диаграммы состояния. Однако этим не исчерпывается практическая значимость диаграмм состояния сплавов. В частности, разбирая процессы, происходящие при охлаждении сплава, по диаграмме состояния можно выявить, в какой форме проявляются образующиеся фазы при охлаждении сплава.

Фазой называется однородная часть системы, образованная компонентами сплава, которая во всех своих точках имеет одинаковые составы, строение и свойства. Жидкая фаза представляет собой раствор расплавленных компонентов. Твердые фазы являются зернами, имеющими определенную форму, размер, состав, структуру и свойства. Это могут быть твердые растворы, химические соединения, зерна чистых компонентов, не образующих с другими компонентами ни твёрдых растворов, ни химических соединений.

Форма проявления фаз называется *структурой сплава*. Возможность по диаграмме состояния прогнозировать структуру, образующуюся из сплавов разного состава, имеет очень большое практическое значение, так как в двухфазных сплавах не фазы, а именно структуры сплавов определяют их механические свойства. Так, например, стали и белые чугуны состоят из одних и тех же фаз, но свойства этих сплавов сильно различаются именно потому, что структуры этих сплавов разные.

Диаграммы состояния систем конкретных компонентов (например, «Железо – углерод», «Медь – алюминий» и др.) редко являются простейшими (типовыми) диаграммами. Они, как правило, являются сложными (комбинированными) диаграммами, в строении которых нужно уметь выделить простейшие (типовые) части их.



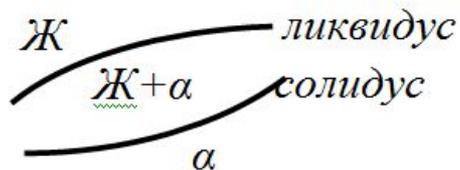


При описании диаграммы состояния необходимо ответить на следующие вопросы:

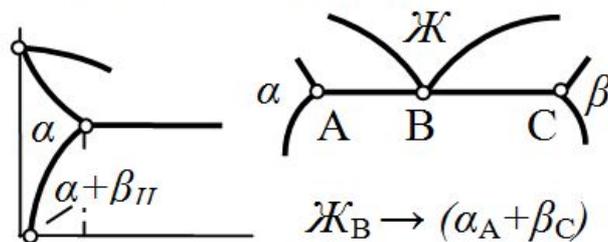
1. Какие кристаллические решетки и при каких температурах имеют компоненты системы?
2. Растворяются ли компоненты в жидком состоянии и как (ограниченно или неограниченно)?
3. Растворяются компоненты в твердом состоянии, образуя ограниченные или неограниченные твердые растворы, или не растворяются, образуя смеси чистых компонентов, химических соединений и т.п.? Если образуются твердые растворы, то нужно их перечислить.
4. Образуют ли компоненты устойчивые или неустойчивые химические соединения? Если образуют, то нужно перечислить их формулы и химические составы.
5. Перечислить все невариантные превращения, протекающие в заданной системе (эвтектические, эвтектоидные, перитектические, перитектоидные и др.), дать при этом словесное описание сути этих превращений, написать их уравнения, указать температуру и химические составы участвующих фаз.

Металл (элемент)	Поли- морфная модифи- кация	Интервал температур устойчивого состояния, °С	Тип кристаллической решетки
Al	—	<657	Кубическая гранецентрированная
Au	—	<1063	Кубическая гранецентрированная
Be	α	<1254	Гексагональная плотноупакованная
	β	1254–1285	Кубическая объемно центрированная
Ti	α	<882	Гексагональная плотноупакованная
	β	882–1660	Кубическая объемно центрированная
Co	α	<450	Гексагональная плотноупакованная
	β	450–1480	Кубическая гранецентрированная
Cu	—	<1083	Кубическая гранецентрированная
Fe	α	<911	Кубическая объемно центрированная
	γ	911–1392	Кубическая гранецентрированная
	$\alpha(\delta)$	1392–1539	Кубическая объемно центрированная
Mn	α	<700	Кубическая сложная многоатомная
	β	700–1079	Кубическая сложная многоатомная
	γ	1079–1243	Тетрагональная гранецентрированная
	δ	1143–1244	Кубическая объемно центрированная
W	—	<3380	Кубическая объемно центрированная

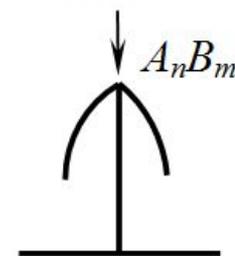
Неограниченная растворимость в жидком состоянии



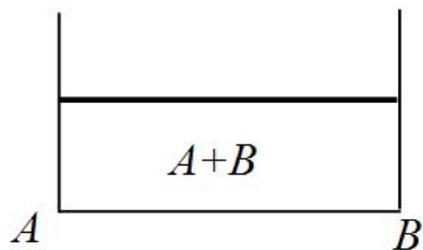
Ограниченная растворимость в твердом состоянии с эвтектическим превращением



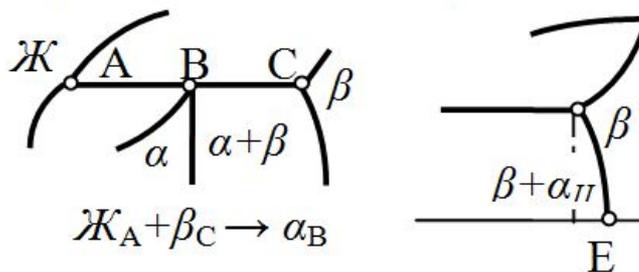
Устойчивое химическое соединение



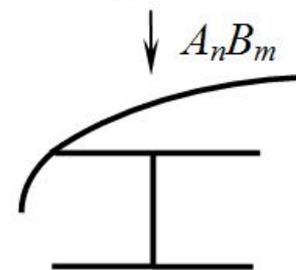
Полная нерастворимость в твердом состоянии



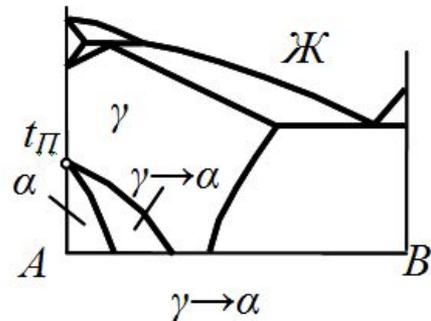
Ограниченная растворимость в твердом состоянии с перитектическим превращением



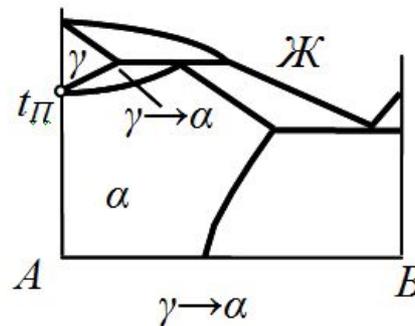
Неустойчивое химическое соединение



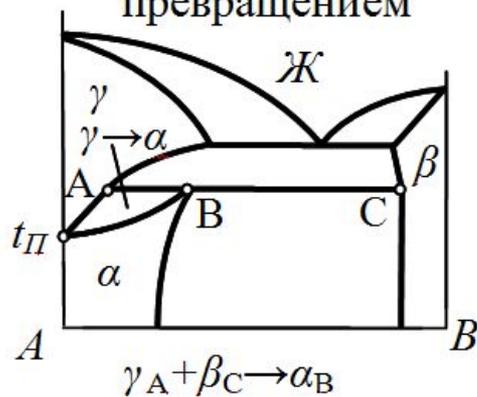
С понижением температуры
полиморфного превращения



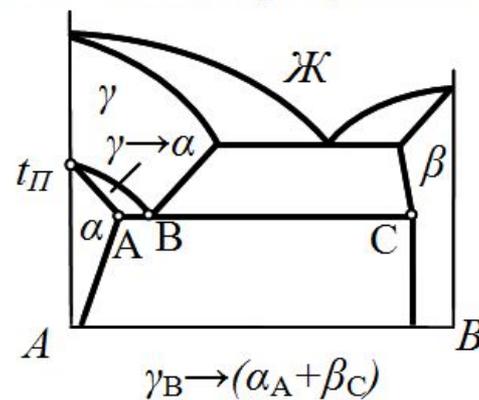
С повышением температуры
полиморфного превращения



С перитектоидным
превращением



С эвтектоидным превращением



1. *Общий анализ диаграммы.*

Титан является полиморфным металлом. При температурном интервале 1660–882 °С он имеет кристаллическую решетку ГПУ (Ti_{β}), при температуре ниже 882 °С титан образует кристаллы на основе решетки ОЦК (Ti_{α}).

Вольфрам не имеет полиморфных модификаций. Ниже температуры кристаллизации (3380 °С) кристаллы вольфрама имеют решетку ОЦК.

Титан и вольфрам неограниченно растворяются в жидком состоянии, образуя неограниченный жидкий раствор Ж. В твёрдом состоянии они растворяются друг в друге ограниченно, образуя три ограниченных твёрдых раствора: α -твёрдый раствор в α -модификации титана, β -твёрдый раствор вольфрама в β -модификации титана и γ -твёрдый раствор титана в вольфраме.

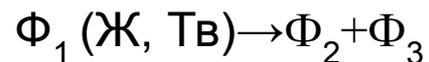
Химических соединений титан и вольфрам не образуют.

Определение вида превращения (реакции)

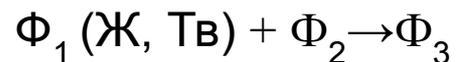
начало



эвтек...



перитек...



конец



... тическое



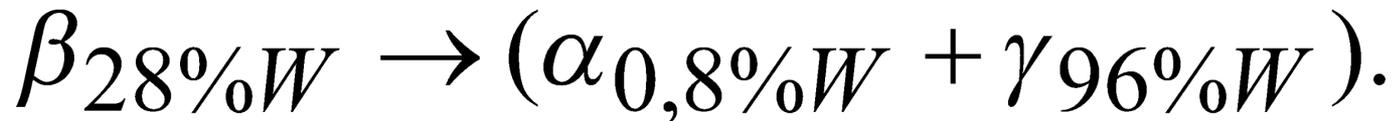
... тоидное

В системе «титан – вольфрам» протекают два **инвариантных превращения**: перитектическое и эвтектоидное.

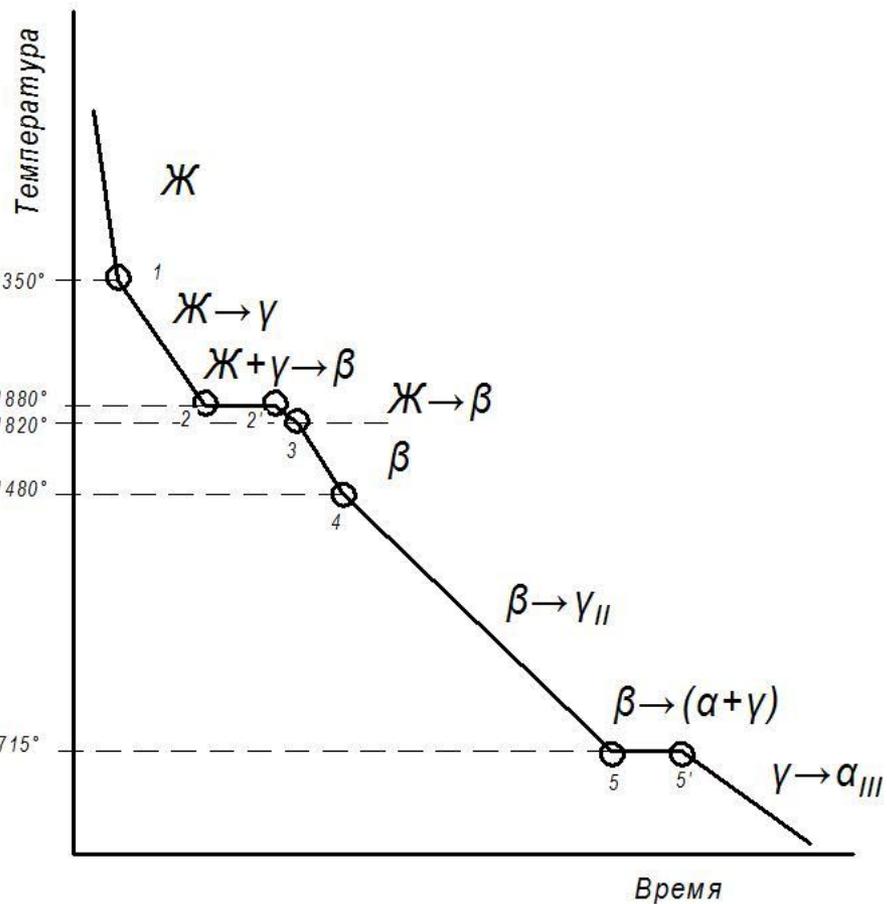
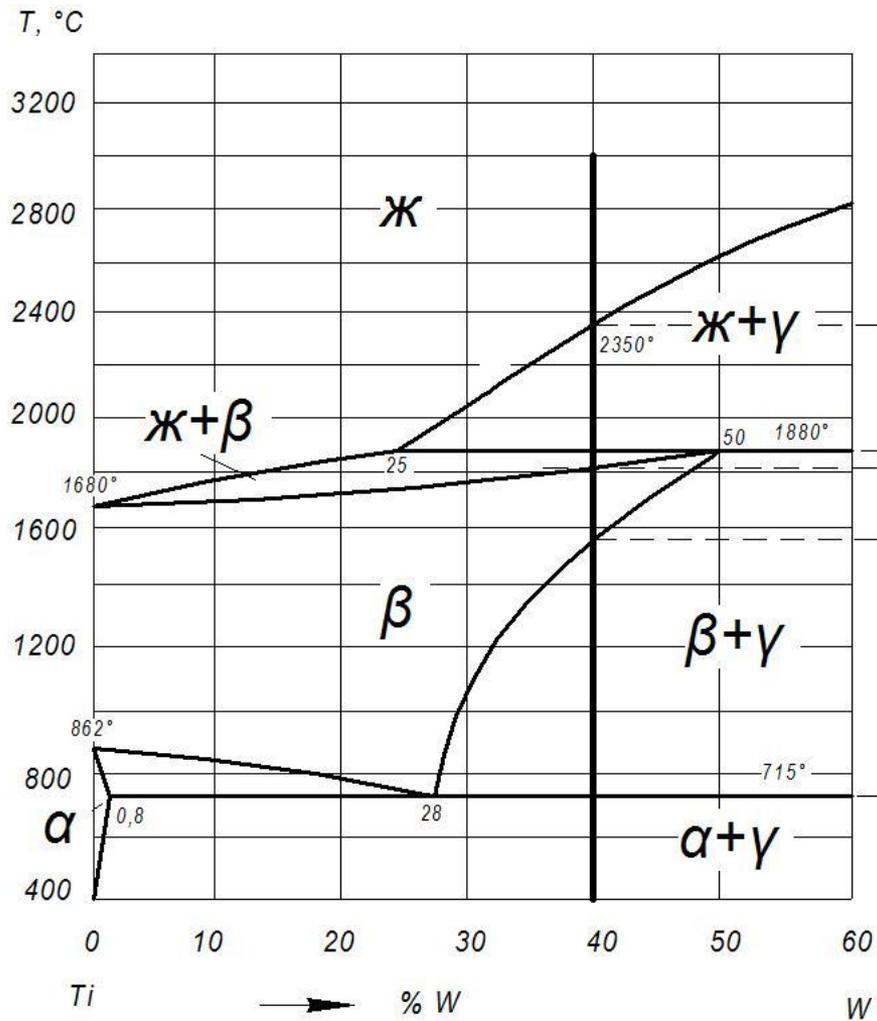
При температуре 1880 °C протекает **перитектическая реакция (перитектическое превращение)**, заключающаяся в том, что жидкий раствор Ж, содержащий 25 % вольфрама, взаимодействует с ранее выпавшими из него кристаллами γ -твёрдого раствора, содержащего 92 % вольфрама, в результате чего образуется новая фаза – кристаллы β -твёрдого раствора, содержащие 50 % вольфрама:



При температуре 715 °C протекает **эвтектоидное превращение**, при котором β -твёрдый раствор, содержащий 28 % вольфрама, распадается в смесь α -твёрдого раствора, содержащего 0,8 % вольфрама, и γ -твёрдого раствора, содержащего 96 % вольфрама:



2. Описание процесса кристаллизации сплава



2. Описание процесса кристаллизации сплава

После построения кривой охлаждения для указанного сплава необходимо для каждого температурного интервала, образованного критическими точками:

- описать процесс кристаллизации, который начинается при достижении сплавом данной критической точки;
- пользуясь правилом фаз, установить, идёт ли описываемый процесс в интервале температур или при постоянной температуре;
- на кривой охлаждения изобразить новый ее участок в рассматриваемом интервале температур, идущий под другим углом, нежели предыдущий, если процесс идёт при изменении температуры, или изобразить горизонтальную площадку, если процесс идёт при постоянной температуре;
- написать уравнение рассматриваемого процесса;
- описать структуру, которая сформировалась в сплаве к моменту окончания рассматриваемого процесса.

ПРАВИЛО ФАЗ

При рассмотрении процессов превращения в диаграммах равновесного состояния сплавов широко применяется так называемое «правило фаз», дающее возможность проверить правильность построения диаграмм и теоретически обосновать направление протекания процессов превращения для установления равновесного состояния системы, которое определяется следующими переменными факторами: температурой, давлением и составом фаз системы (концентрацией).

Число переменных величин (концентрация фаз, температура, давление), которые могут изменяться независимо друг от друга, называется **числом степеней свободы или вариантностью системы**.

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

где $C \geq 0$ – число степеней свободы (вариантность системы), K – число компонентов в системе, Φ – количество фаз, находящихся в равновесии при рассматриваемых условиях

Если число степеней свободы системы равно нулю ($C = 0$), то такое равновесие называют **инвариантным** (безвариантным). Это означает, что сплав с данным числом фаз может существовать только при определенных условиях: при постоянной температуре и определенной концентрации всех находящихся в равновесии фаз.

Если $C = 1$, то такая система называется **моновариантной** (одновариантной), т. е. чтобы не нарушилось равновесное состояние фаз, можно изменить либо концентрацию фаз, либо температуру.

Когда $C = 2$, система **бивариантна** (двухвариантна). Наличие одной или двух степеней свободы позволяет изменять одну или две переменных без изменения числа фаз.

2. Описание процесса кристаллизации сплава с 40 % вольфрама.

При температурах выше 2350° сплав находится в жидком состоянии и состоит из одной фазы – жидкого раствора \mathcal{J} . На этом участке охлаждения в сплаве не происходит никаких фазовых превращений, наблюдается простое физическое охлаждение жидкого раствора. Система бивариантна:

$$C = K - \Phi + 1 = 2 - 1 + 1 = 2, \text{ где } K = 2(Ti, W), \Phi = (\mathcal{J}).$$

При достижении температуры 2350°C в сплаве начинается процесс первичной кристаллизации, который состоит в том, что из жидкого раствора будут выпадать первичные кристаллы γ -твёрдого раствора ($\mathcal{J} \rightarrow \gamma$). Этот процесс является моновариантным:

$$C = 2 - 2 + 1 = 1, \text{ где } \Phi = 2(\mathcal{J}, \gamma).$$

Этот процесс сопровождается выделением тепла и идёт в интервале температур. На кривой охлаждения при температуре 2350°C будет наблюдаться перегиб. Выпадение γ -твёрдого раствора из жидкого раствора будет продолжаться до температуры 1880°C . К моменту достижения сплавом температуры 1880°C он состоит из первичных кристаллов γ -твёрдого раствора и жидкого раствора.

При температуре 1880° в сплаве будет протекать перитектическое превращение: жидкий раствор будет взаимодействовать с кристаллами γ -твёрдого раствора, в результате чего будут образовываться кристаллы β -твёрдого раствора:



Это превращение невариантно: $C = 2 - 3 + 1 = 0$, где $\Phi = 3(Ж, \beta, \gamma)$

На кривой охлаждения температуре 1880°C будет соответствовать горизонтальная площадка. Поскольку в сплаве жидкого раствора больше, чем необходимо для перитектического превращения, сплав в момент окончания превращения (точка 2' на кривой охлаждения – рисунок) будет состоять из кристаллов β -твёрдого раствора и остатка жидкого раствора.

При охлаждении от 1880°C до 1820°C остаток жидкого раствора будет кристаллизоваться в β -твёрдый раствор. Превращение моновариантно:

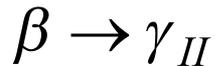
$$C = 2 - 2 + 1 = 1, \text{ где } \Phi = 2(Ж, \beta)$$

К моменту достижения температуры 1820° сплав состоит только из кристаллов β -твёрдого раствора.

В интервале температур 1820 °С до 1480 °С ни каких фазовых превращений в сплаве не происходит, идёт простое физическое охлаждение β -твёрдого раствора. Система бивариантна:

$$C = 2 - 1 + 1 = 2, \text{ где } \Phi = 1(\beta)$$

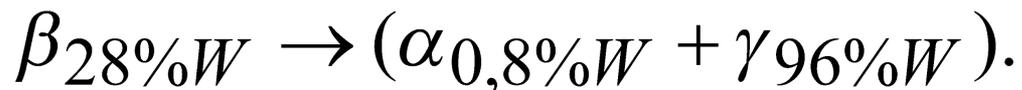
При температуре 1480 °С β -твёрдый раствор достигнет предела насыщения и в связи с тем, что при дальнейшем понижении температуры растворимость вольфрама в титане понижается, β -твёрдый раствор становится пересыщенным и избыток вольфрама выделяется из него со вторичными кристаллами γ -твёрдого раствора



Сплав моновариантен: $C = 2 - 2 + 1 = 1$, где $\Phi = 2(\beta, \gamma)$

К моменту достижения сплавом температуры 715 °С его структура состоит из кристаллов β -твёрдого раствора и вторичных кристаллов γ -твёрдого раствора.

При температуре 715 °С в сплаве будет протекать эвтектоидное превращение: β -твёрдый раствор будет распадаться в смесь кристаллов α - и γ -твёрдых растворов:



Эвтектоидное превращение невариантно:

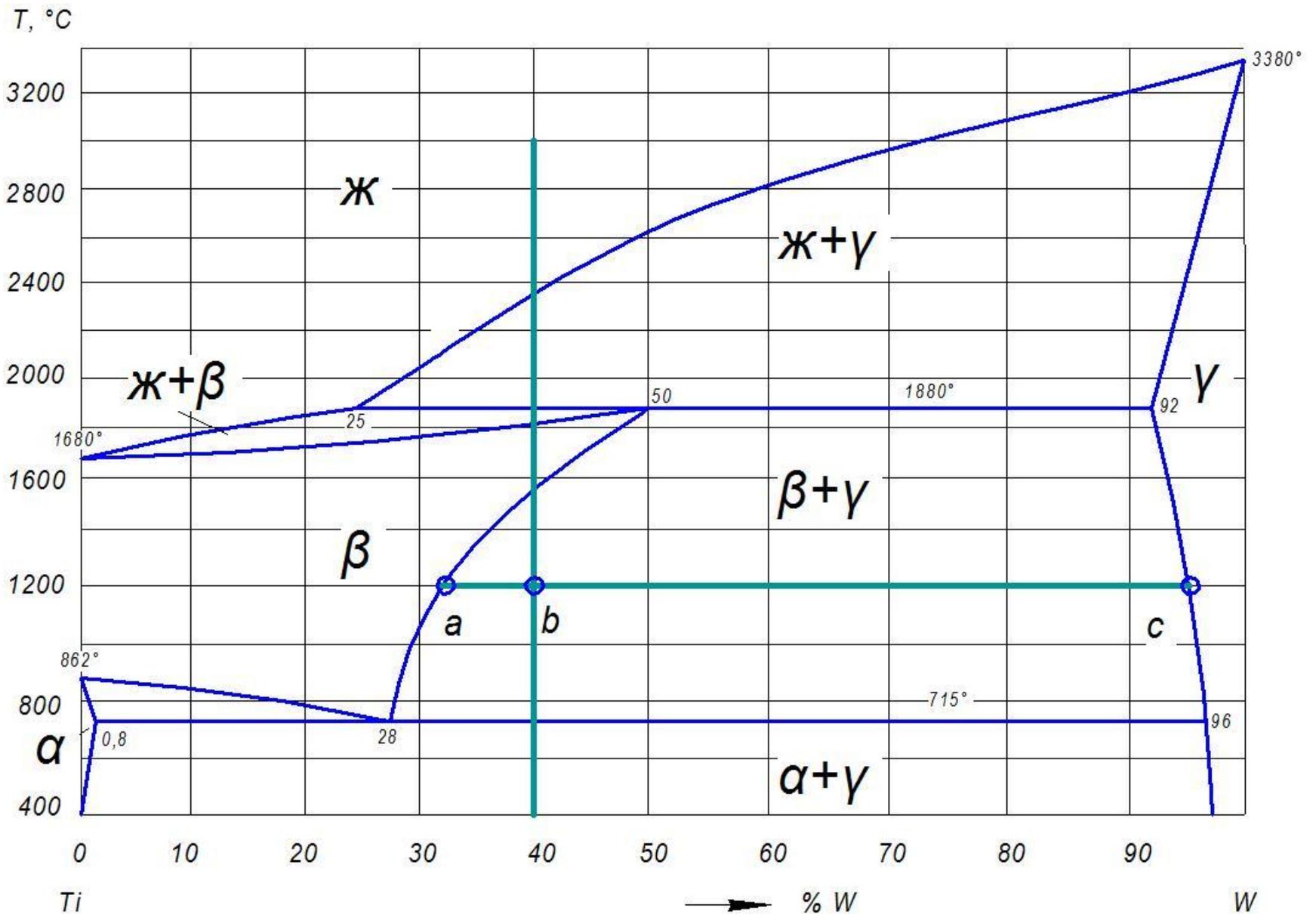
$$C = 2 - 3 + 1 = 0, \text{ где } \Phi = 3(\beta, \gamma, \alpha),$$

идёт при постоянной температуре 715 °С и указанных концентрациях фаз и поэтому температуре 715 °С на кривой охлаждения будет соответствовать горизонтальная площадка. В момент окончания эвтектоидного превращения (точка 5' на кривой охлаждения) структура сплава будет состоять из вторичных кристаллов γ -твёрдого раствора и эвтектоида ($\alpha+\gamma$).

При дальнейшем охлаждении ниже 715 °С вследствие понижения растворимости вольфрама в титане из α -твёрдого раствора будут выпадать третичные кристаллы γ -твёрдого раствора.

Ниже 715 °С сплав моновариантен и состоит из двух фаз (α - и γ -твёрдые растворы).

3. Определение состава и количества фаз на 1 килограмм сплава.



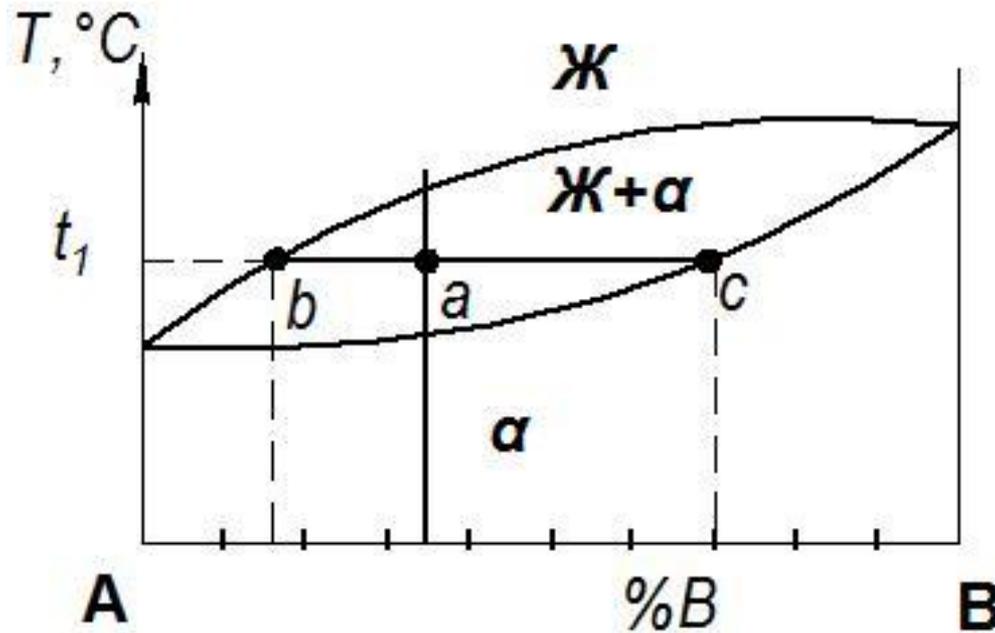
При анализе строения и свойств сплавов рассматривается состав фаз и их количественное соотношение. Для определения количества фаз и их концентрации в любой точке двухфазной области диаграммы состояния сплавов служит «правило отрезков (рычага)».

Отрезки, лежащие на температурной горизонтали (коноде) между точками концентрации фаз (В, D) и средней точкой, соответствующей концентрации исходного сплава (Е), обратно пропорциональны количеству этих фаз:

$$Q_T \cdot DE = Q_{Ж} \cdot BE, \quad Q_T / Q_{Ж} = DE / BE$$

Иными словами, количество фазы, например жидкости, характеризуется величиной противолежащего отрезка ED, а количество кристаллов α -твёрдого раствора – величиной противолежащего отрезка BE.

С помощью правила отрезков можно определить не только фазовый состав сплава, но и количественное соотношение структурных составляющих, например избыточных кристаллов и эвтектики.



При температуре t_1 сплав с 35 % В и 65% А сплав состоит из двух фаз: жидкости и α -твёрдого раствора.

Жидкость содержит 17 % В и 83 % А;

α -твёрдый раствор содержит 70 % В и 30 % А;

$$Q_{\text{ж}} = \frac{ac}{bc} \cdot Q = \frac{70-35}{70-17} \cdot 1000\text{г} = \frac{35}{53} \cdot 1000\text{г} = 660\text{г}$$

$$Q_{\alpha} = \frac{ba}{bc} \cdot Q = \frac{35-17}{70-17} \cdot 1000\text{г} = \frac{18}{53} \cdot 1000\text{г} = 340\text{г}$$

При температуре 1200° сплав с 40 % вольфрама:
состоит из двух фаз: (β -твёрдого раствора и γ -твёрдого раствора;
 β -твёрдый раствор содержит 34 % W и 66 % Ti ;
 γ -твёрдый раствор содержит 95 % W и 5 % Ti ;

вес β -твёрдого раствора: $Q_{\beta} = \frac{ac}{bc} \cdot Q = \frac{55}{61} \cdot 1000 = 901,62$

вес γ -твёрдого раствора: $Q_{\gamma} = \frac{ba}{bc} \cdot Q = \frac{6}{61} \cdot 1000 = 98,42$

Варианты заданий для ДЗ

Задание № 1

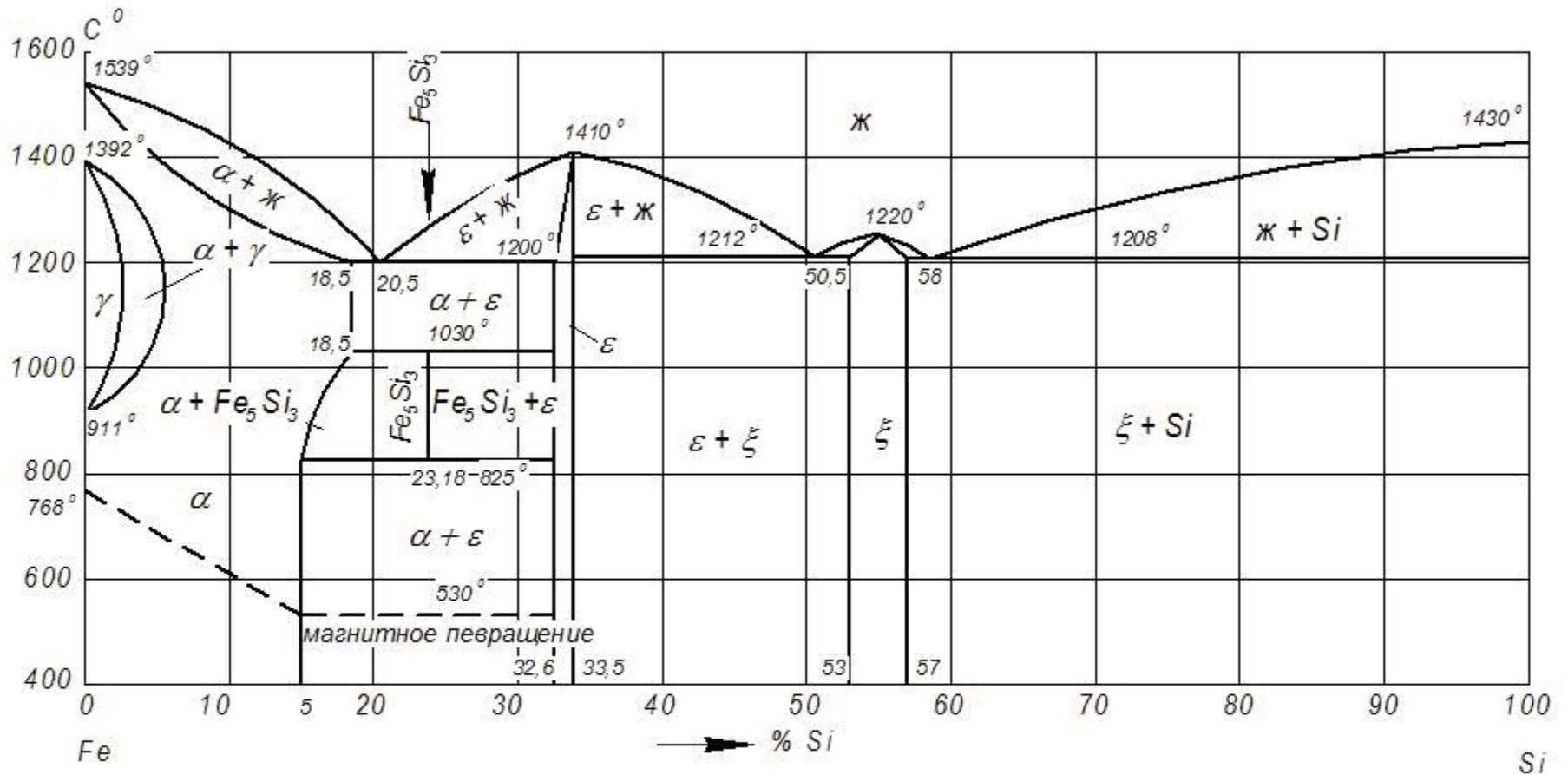
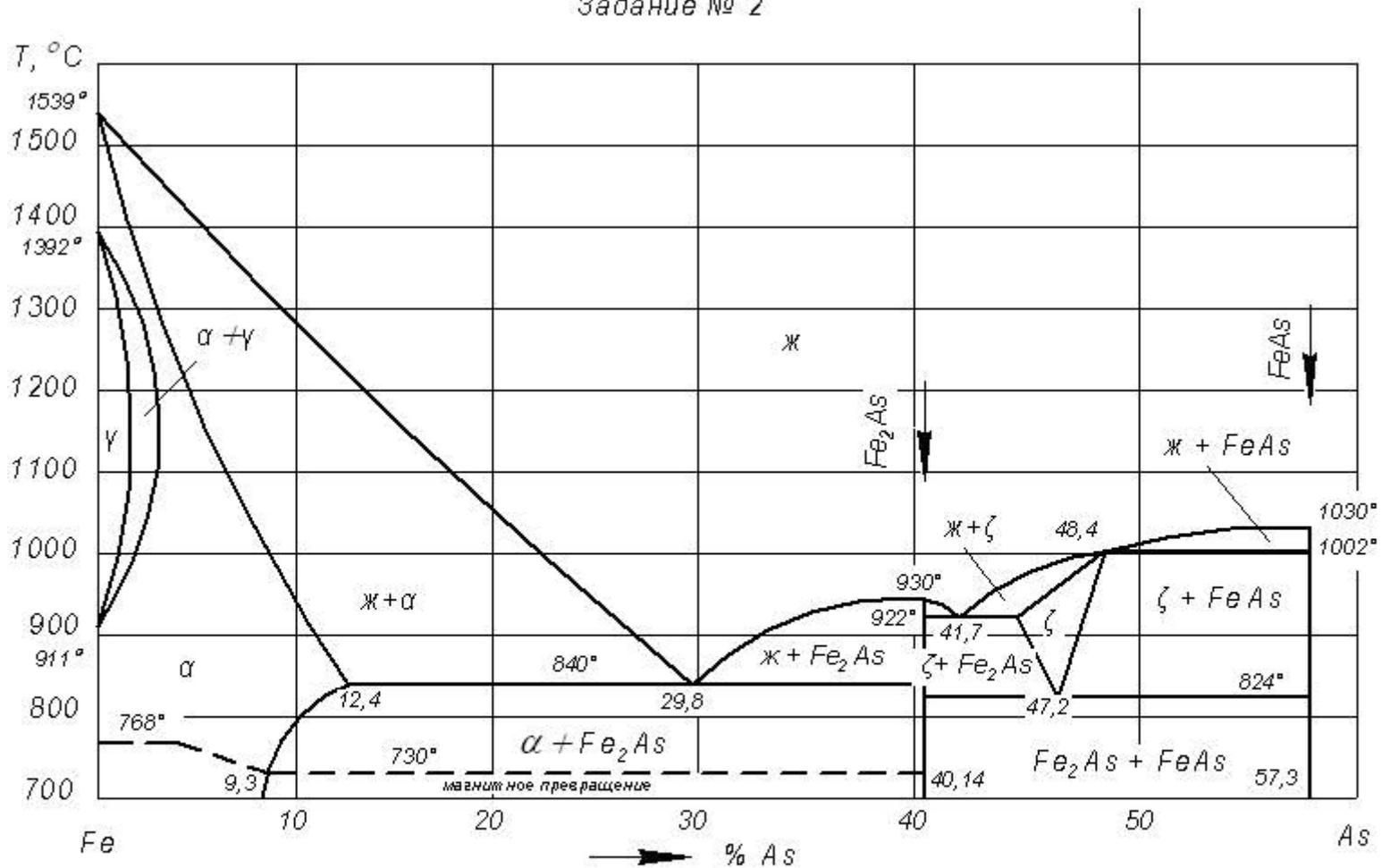


Диаграмма состояния системы "Железо - кремний"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Si	20	22	27	30	29	40	90	70	19	52
$t, ^\circ\text{C}$	600	1100	1000	600	700	800	1300	800	500	1000

Задание № 2



Часть диаграммы состояния системы железо-мышьяк (0 - 60 % As)

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% As	52	11,5	15	48	43	46	50	35	55	23
t, °C	950	1100	1000	800	750	700	800	700	900	900

Задание №3

57,3

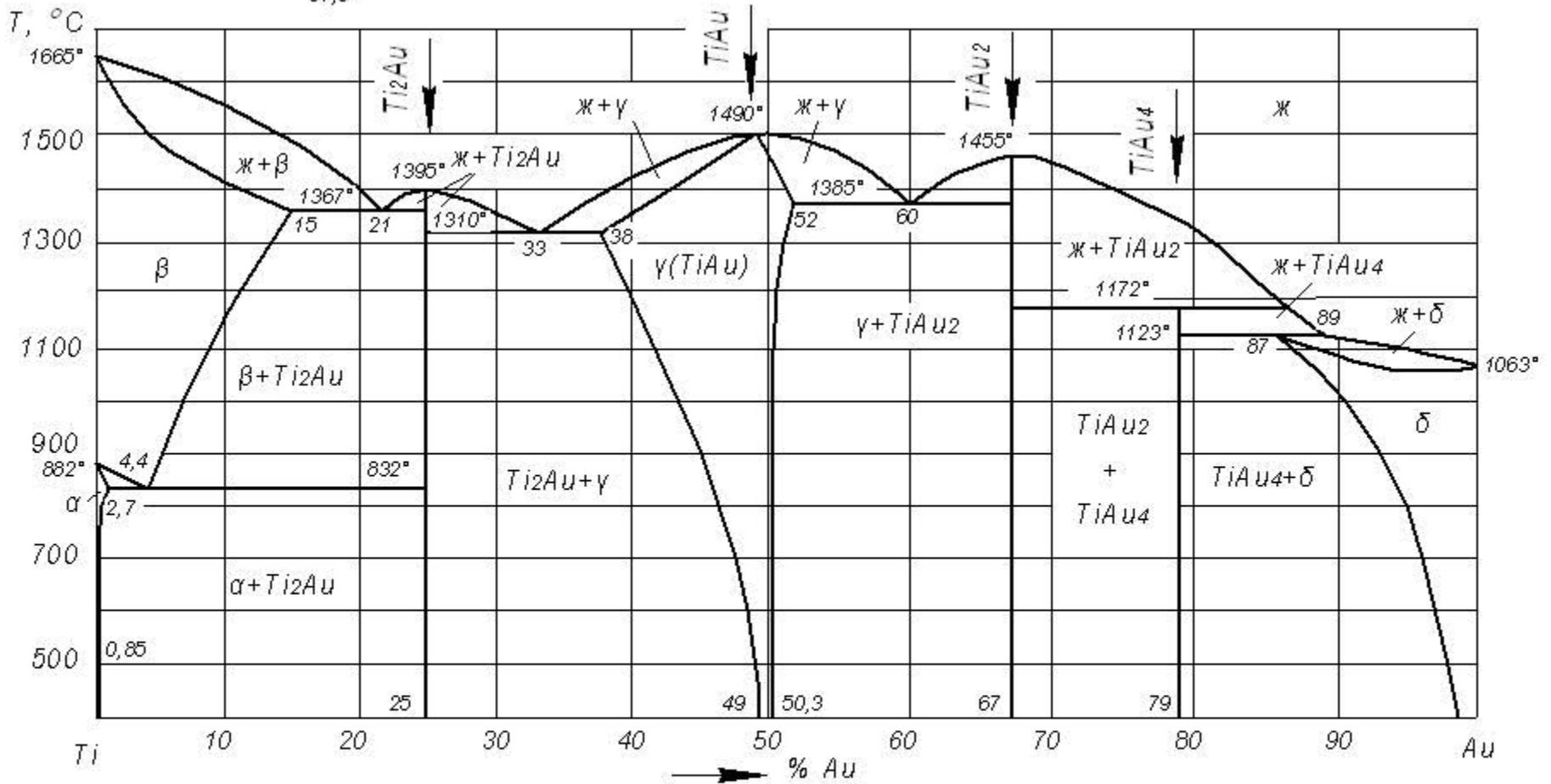
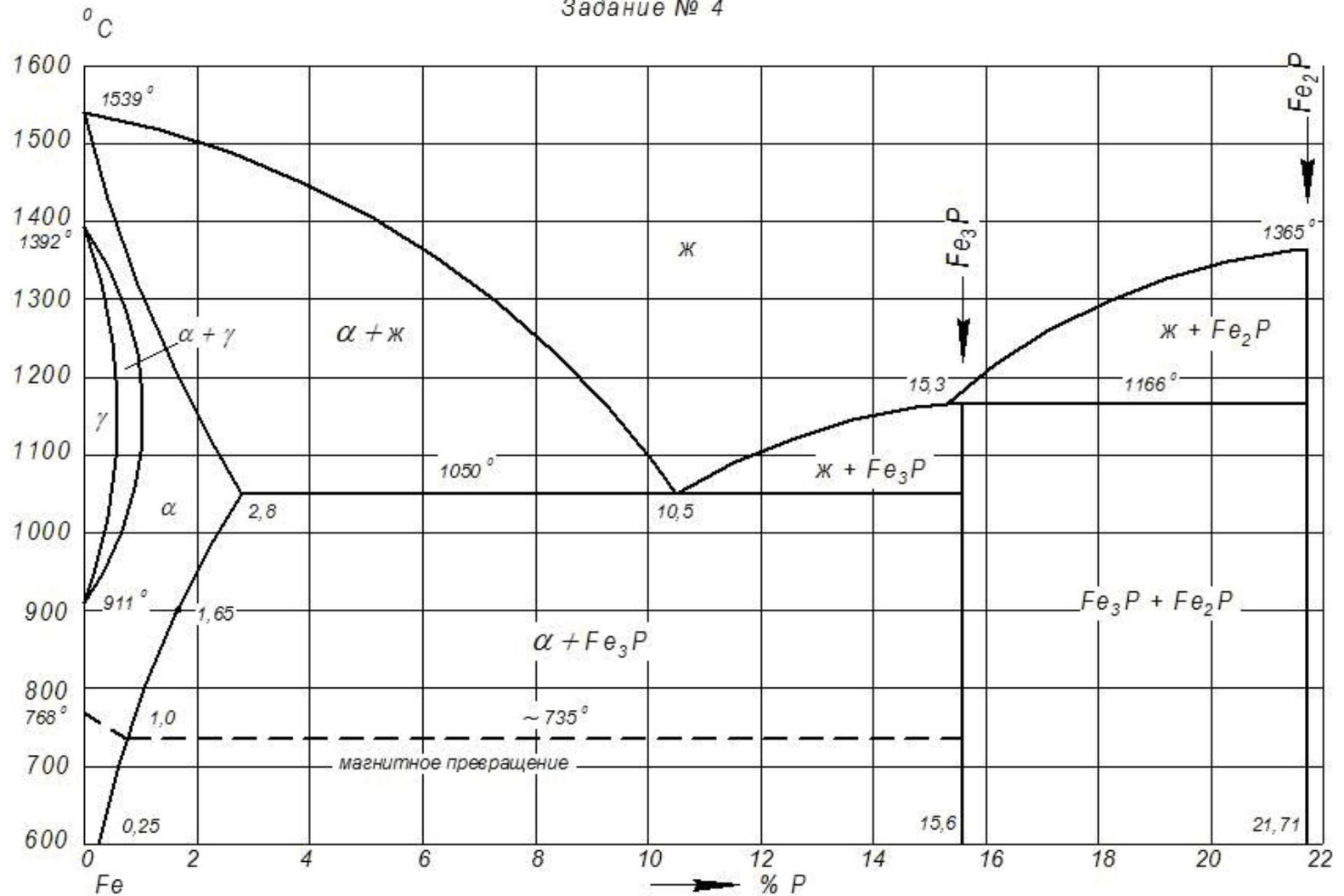


Диаграмма состояния системы "Титан - золото"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Au	3	10	10	35	45	55	65	72	75	90
t, °C	700	1000	1500	700	500	1400	800	1300	900	700

Задание № 4



Часть диаграммы состояния системы "Железо - фосфор" (0 - 22 % P)

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% P	6	19	14	4	18	5	15	2	21	17
t, °C	1200	900	1100	1300	1200	800	700	1400	800	1100

Задание № 5

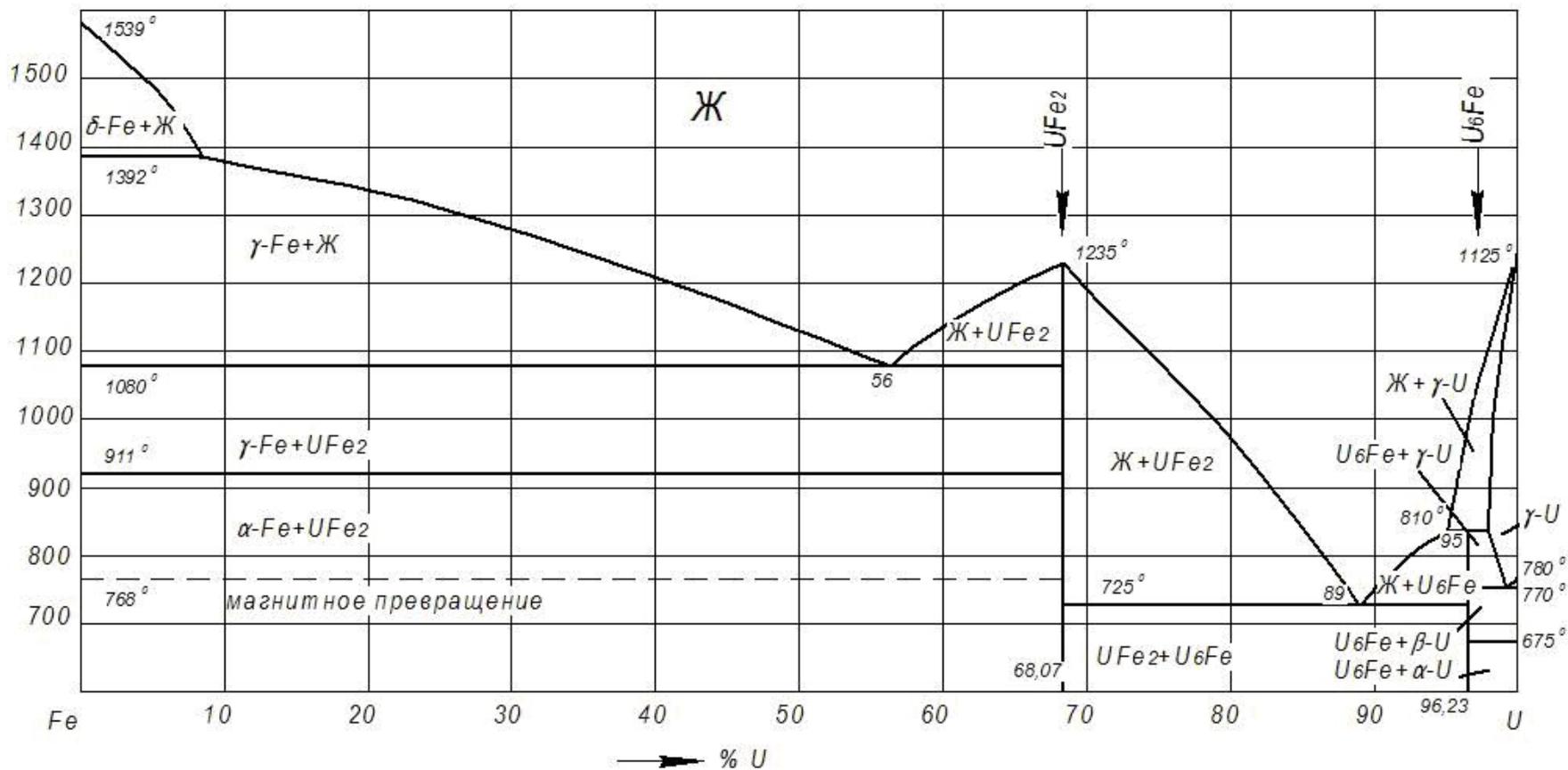


Диаграмма состояния системы "Железо - уран"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% U	20	22	27	30	29	40	90	70	19	52
$t, ^\circ C$	600	1100	1000	600	700	800	1300	800	500	1000

Задание № 6

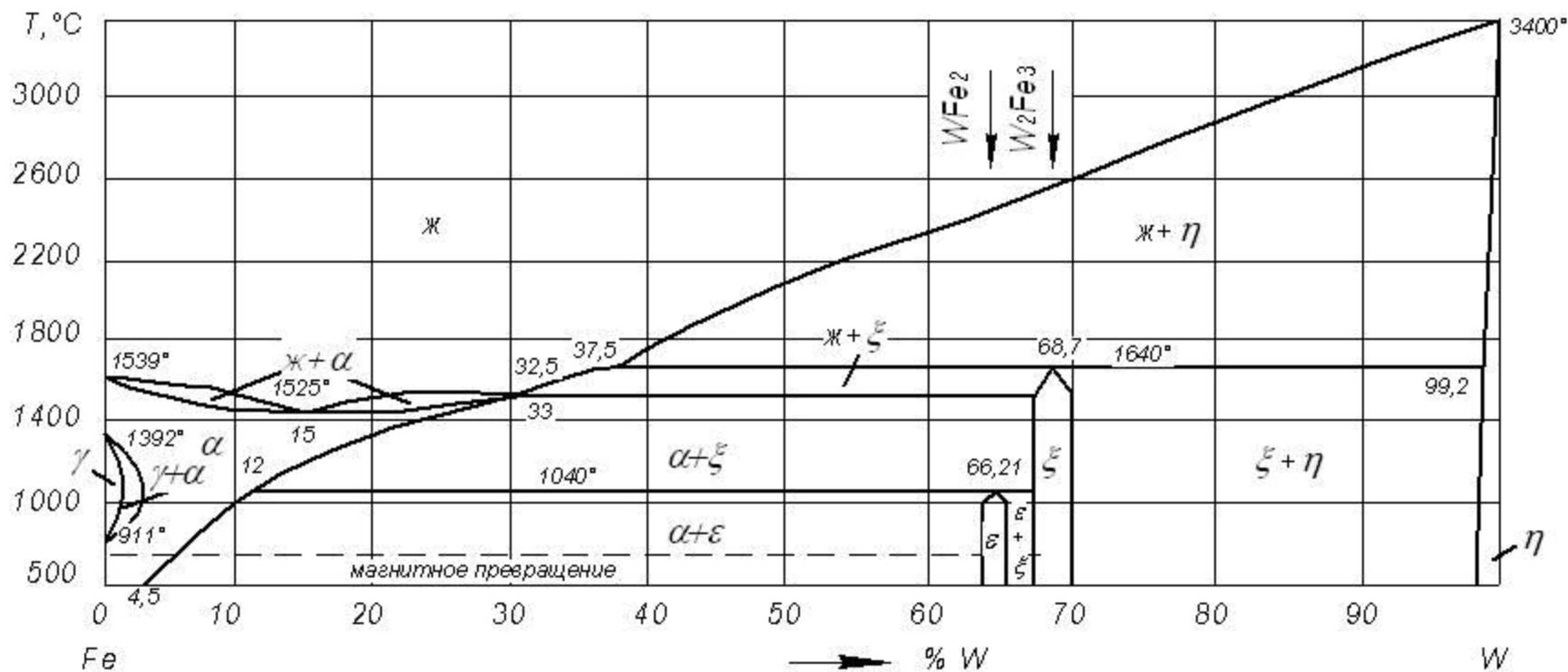


Диаграмма состояния "Железо - вольфрам"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% W	10	20	30	35	40	55	60	65	80	90
t, °C	600	1000	1200	800	1300	1800	1400	1800	1000	2200

Задание № 7

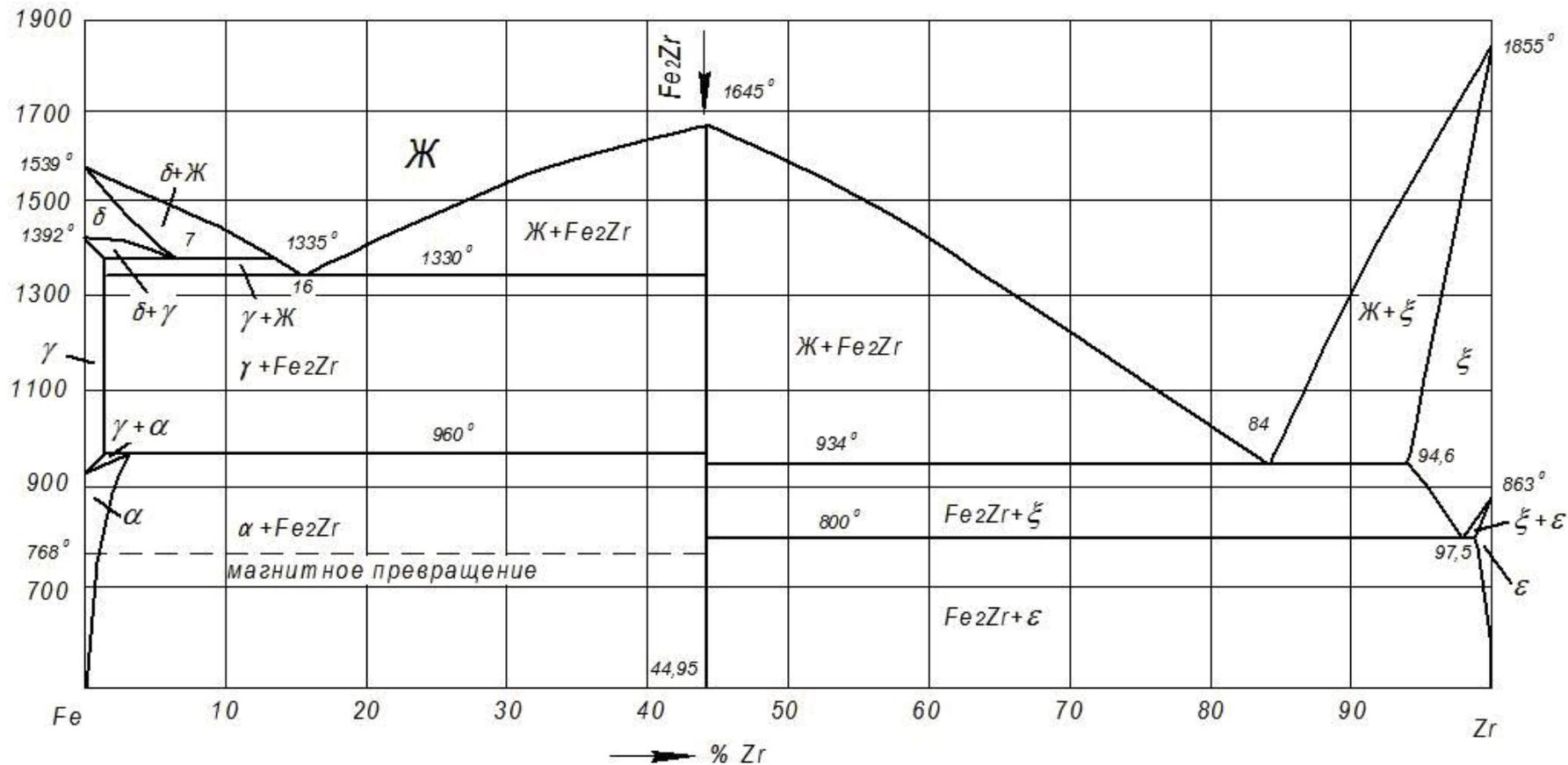


Диаграмма состояния системы "Железо - цирконий"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Zr	20	22	27	30	29	40	90	70	19	52
$t, ^\circ\text{C}$	600	1100	1000	600	700	800	1300	800	500	1000

Задание № 8

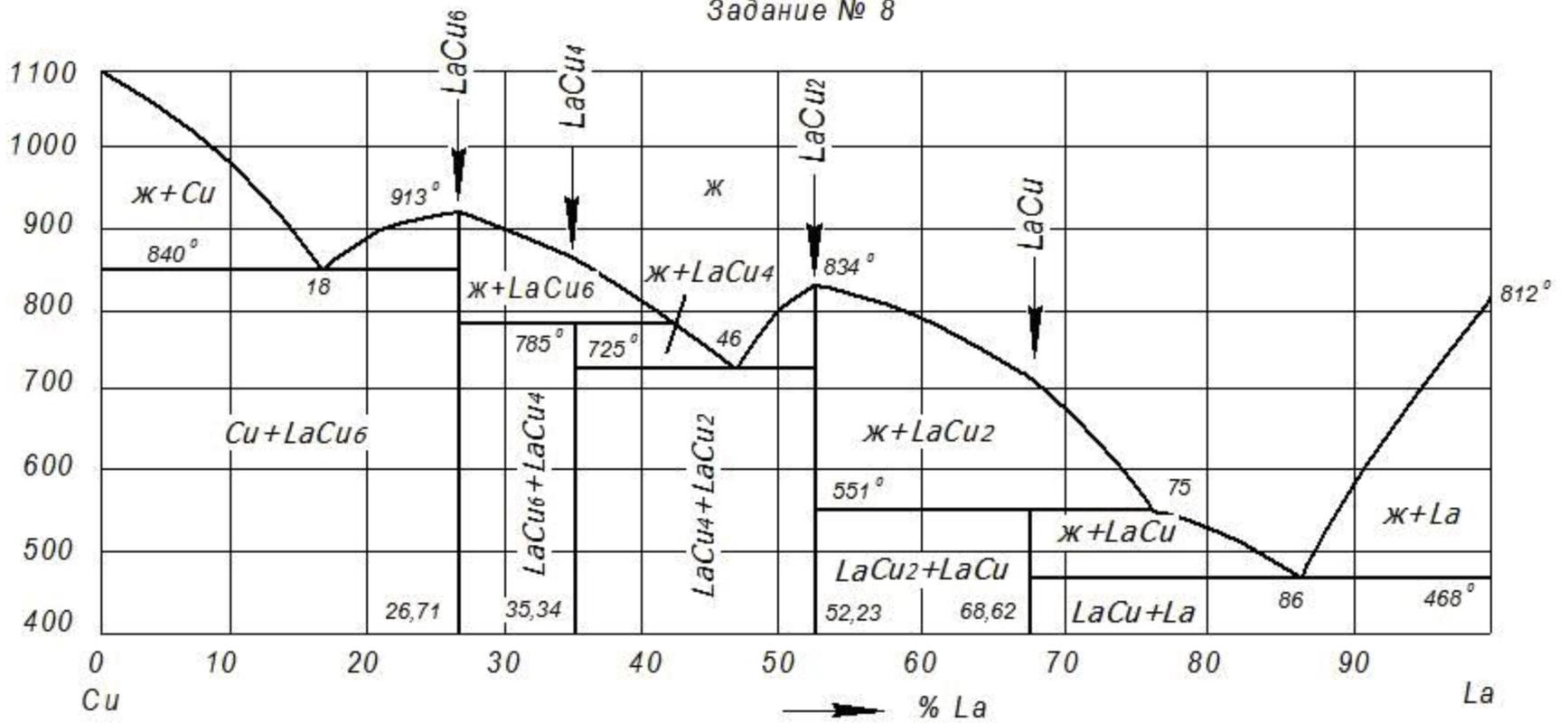


Диаграмма состояния "Медь - лантан"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% La	5	80	30	40	60	55	50	70	10	90
t, °C	900	450	800	600	650	450	700	500	700	500

Задание № 9

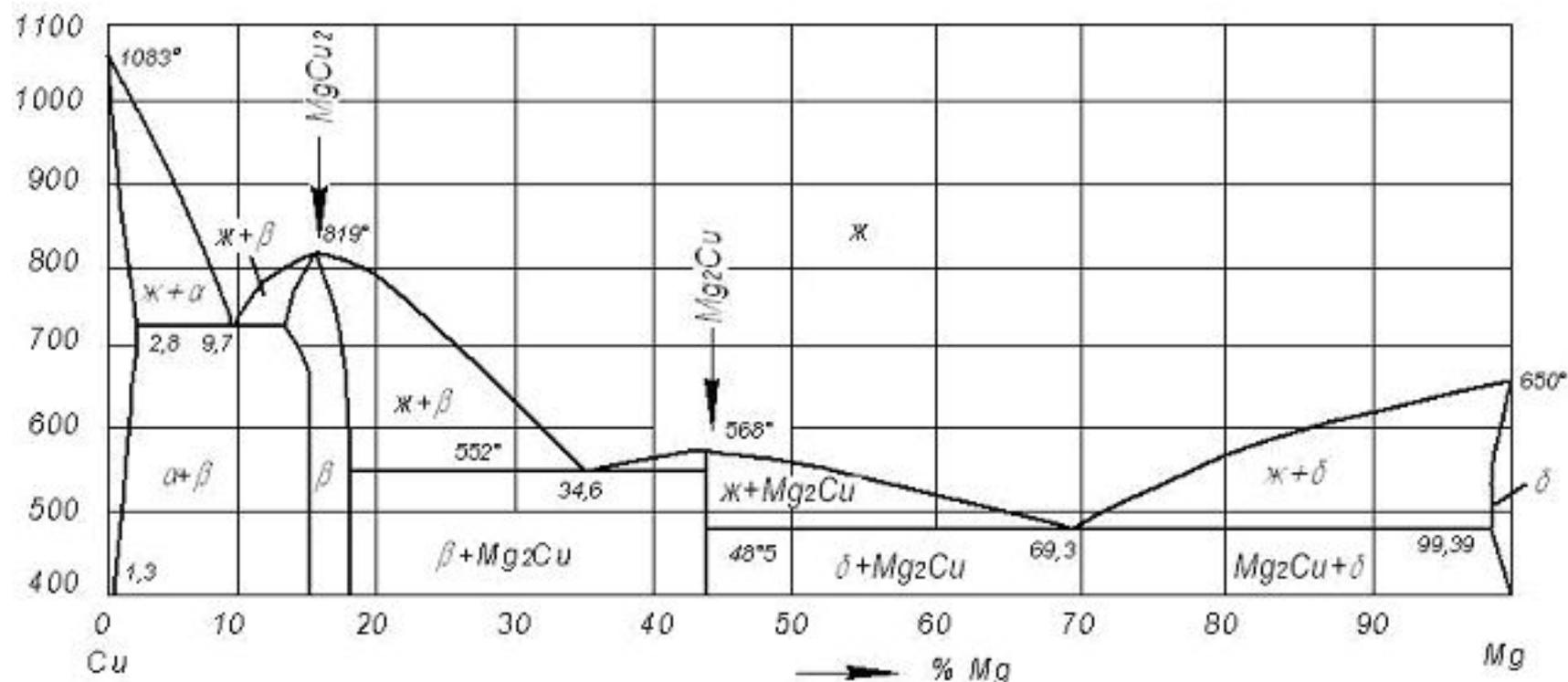


Диаграмма состояния "Медь - магний"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Mg	20	60	85	90	40	30	5	75	50	11
t, °C	700	500	550	400	500	500	600	500	450	600

Задание № 10

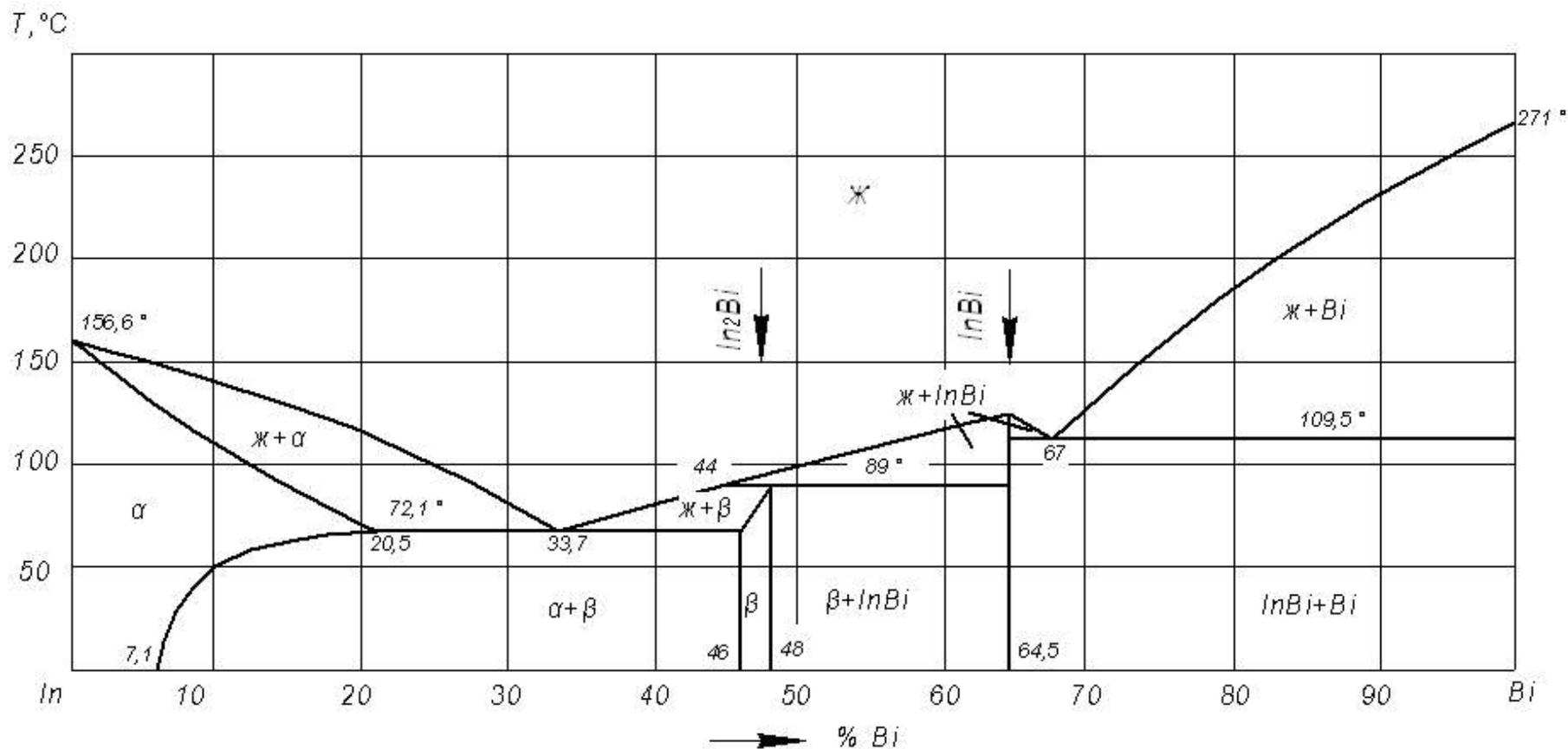


Диаграмма состояния "Индий - висмут"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Bi	10	15	30	40	60	65	80	85	90	45
t, °C	125	40	60	50	100	50	100	150	200	75

Задание №11

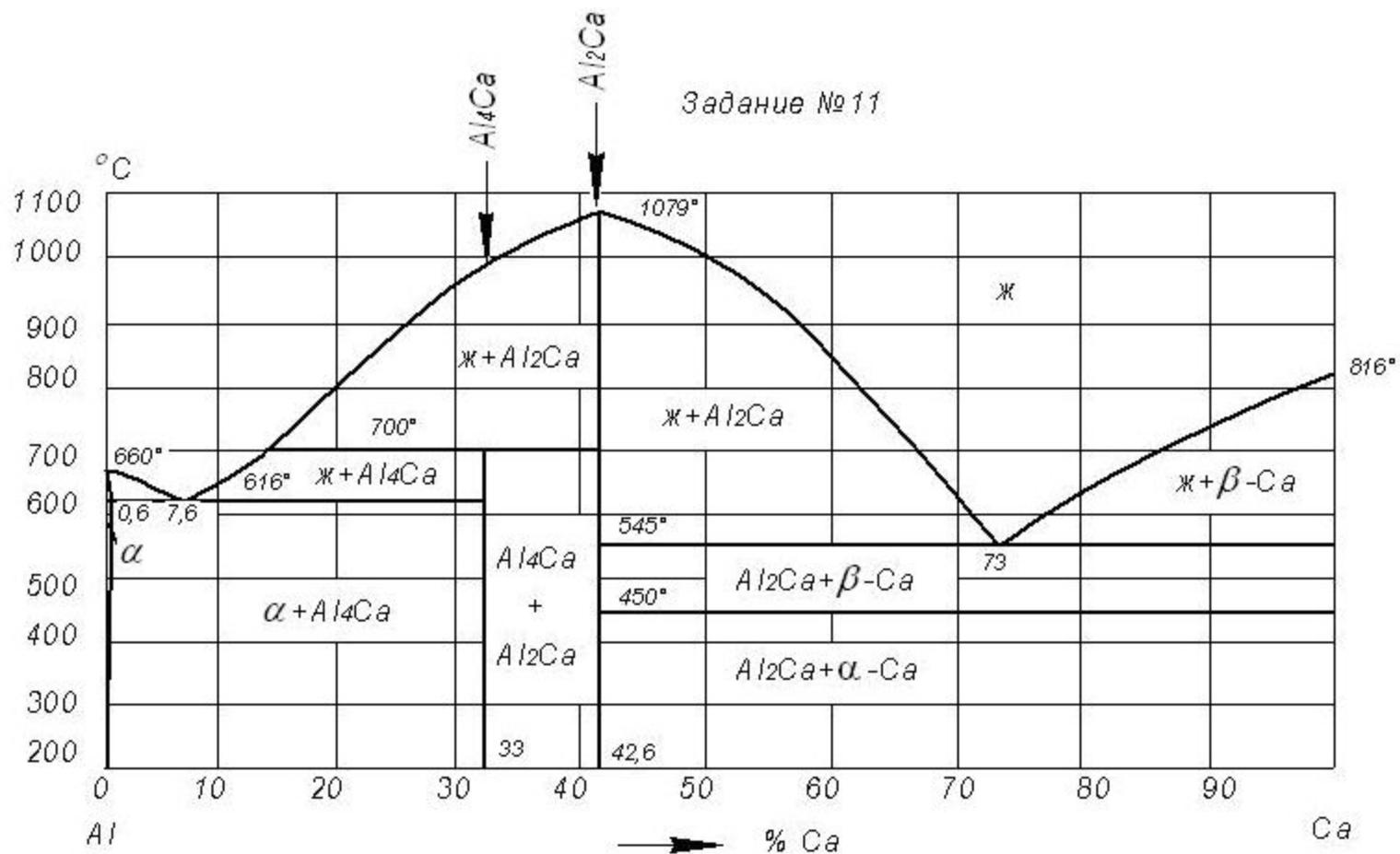


Диаграмма состояния "Алюминий - кальций"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Ca	5	20	20	90	30	35	40	85	60	25
t, °C	500	800	650	600	800	800	900	500	700	400

Задание № 12

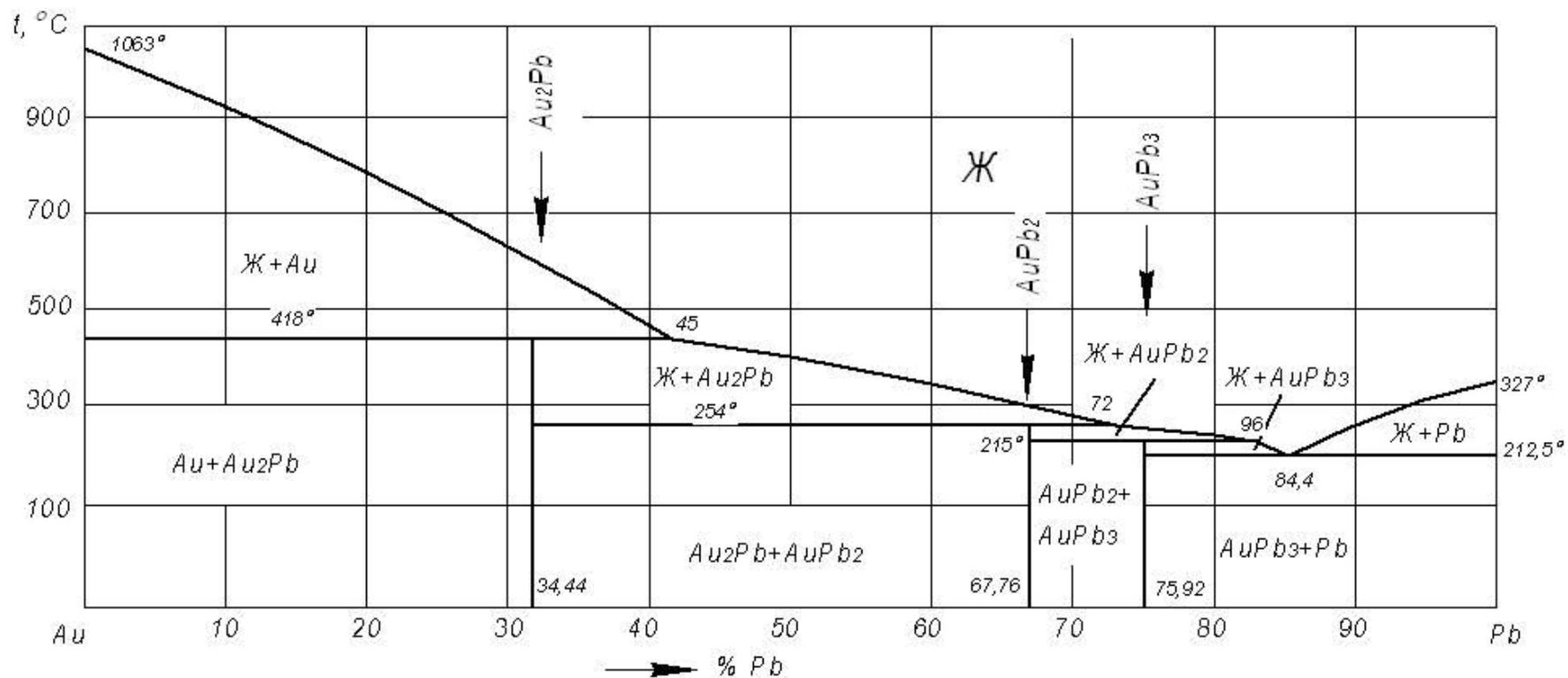


Диаграмма состояния системы "Золото - свинец"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Pb	20	35	45	70	78	80	90	30	10	74
$t, ^\circ\text{C}$	600	300	100	40	100	100	40	300	500	100

Задание № 13

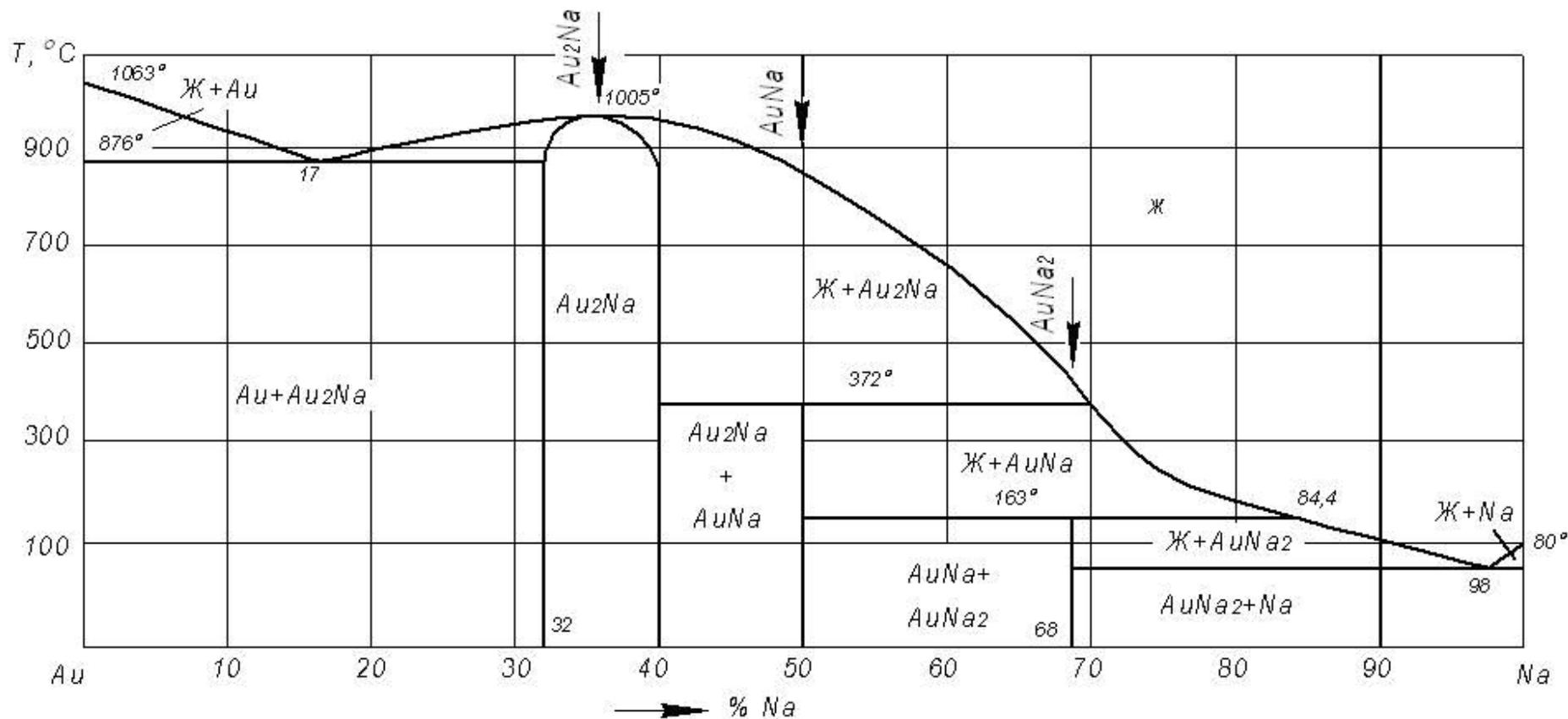


Диаграмма состояния системы "Золото - натрий"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Na	10	20	45	55	75	80	90	30	99	60
$t, ^\circ\text{C}$	900	300	500	300	100	50	40	300	50	100

Задание № 14

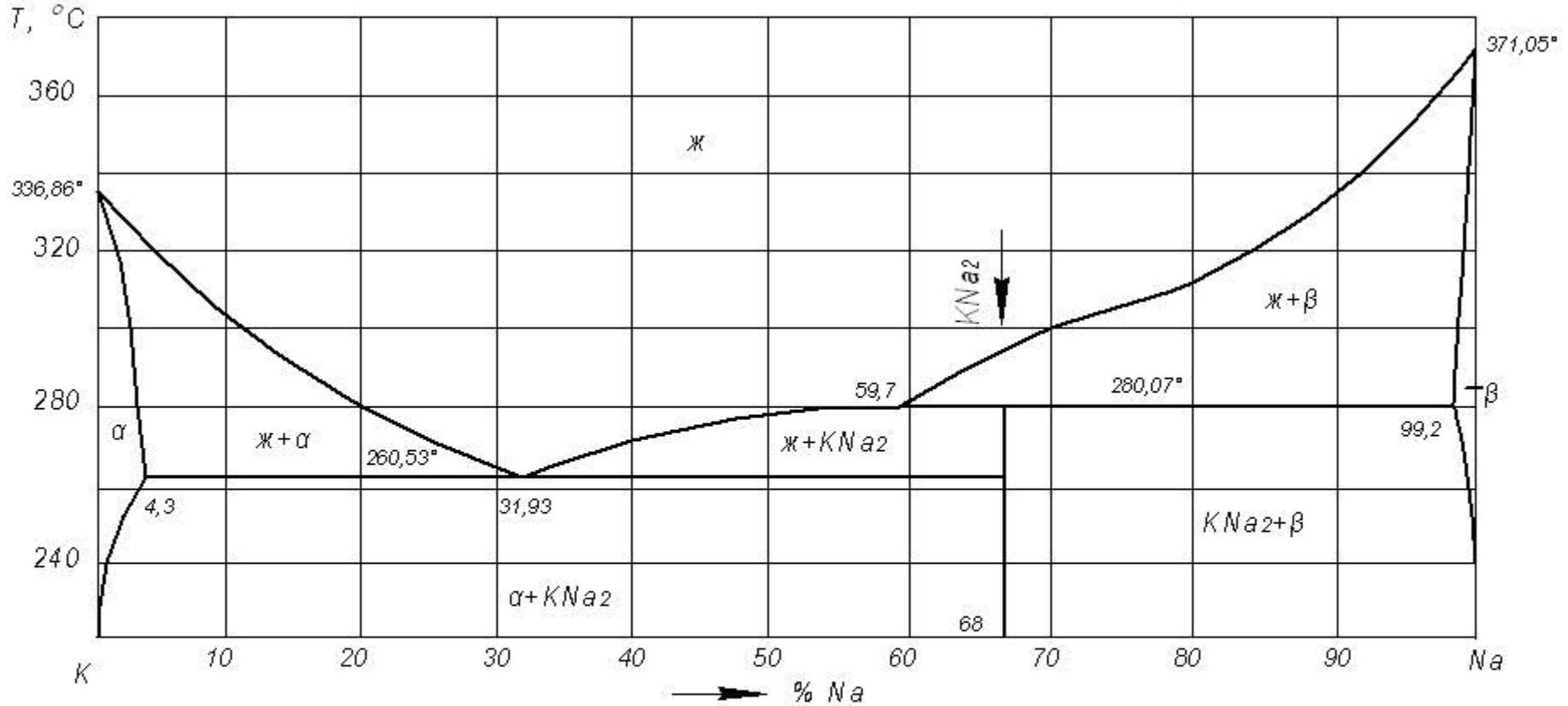


Диаграмма состояния системы "Калий - натрий"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Na	10	15	5	45	53	80	85	90	83	95
t , $^{\circ}\text{C}$	280	240	300	270	265	300	290	320	260	240

Задание № 15

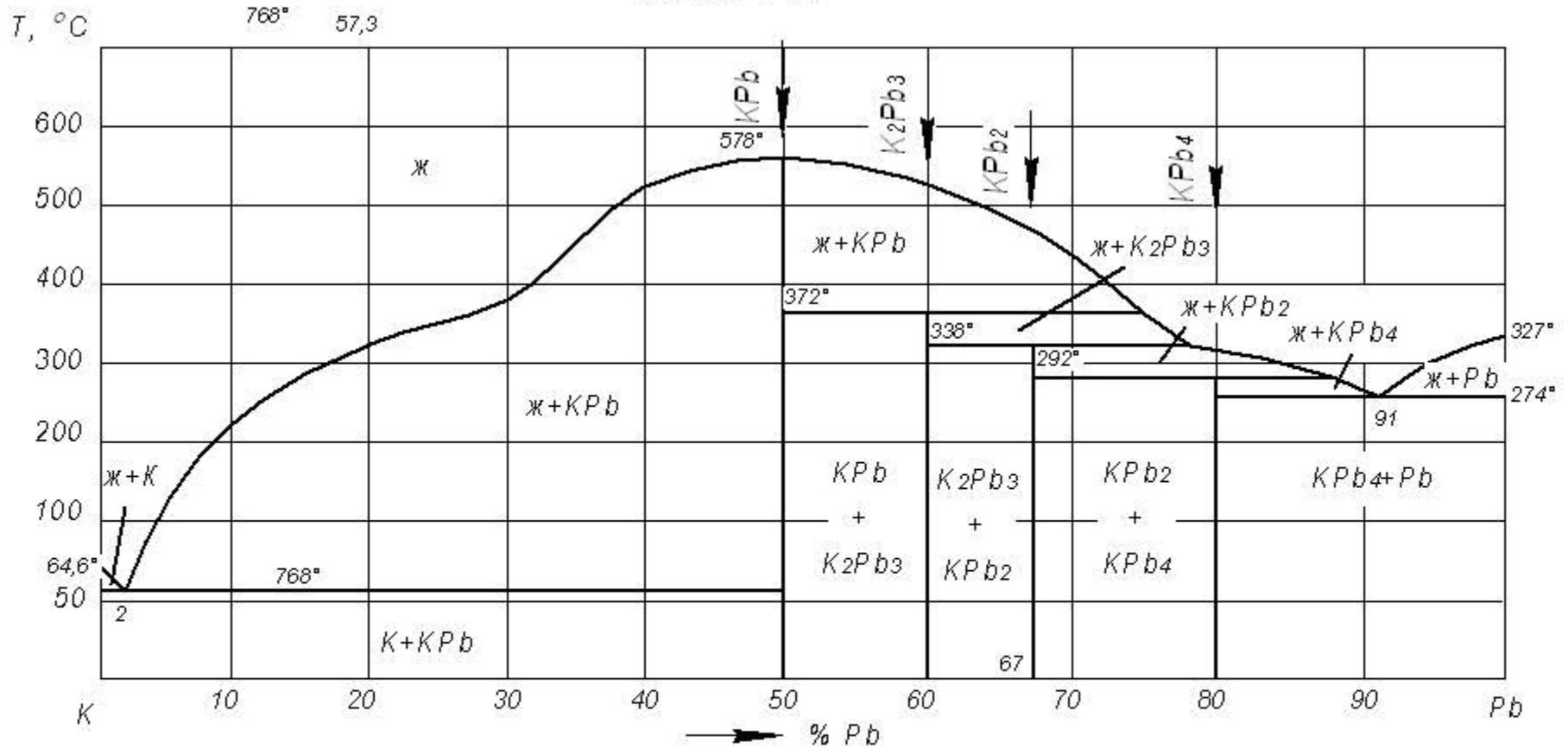


Диаграмма состояния системы "Калий - свинец"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
$\% \text{Pb}$	10	20	35	45	55	56	65	75	92	95
$t, ^\circ\text{C}$	100	200	40	400	450	200	100	300	200	280

Задание №16

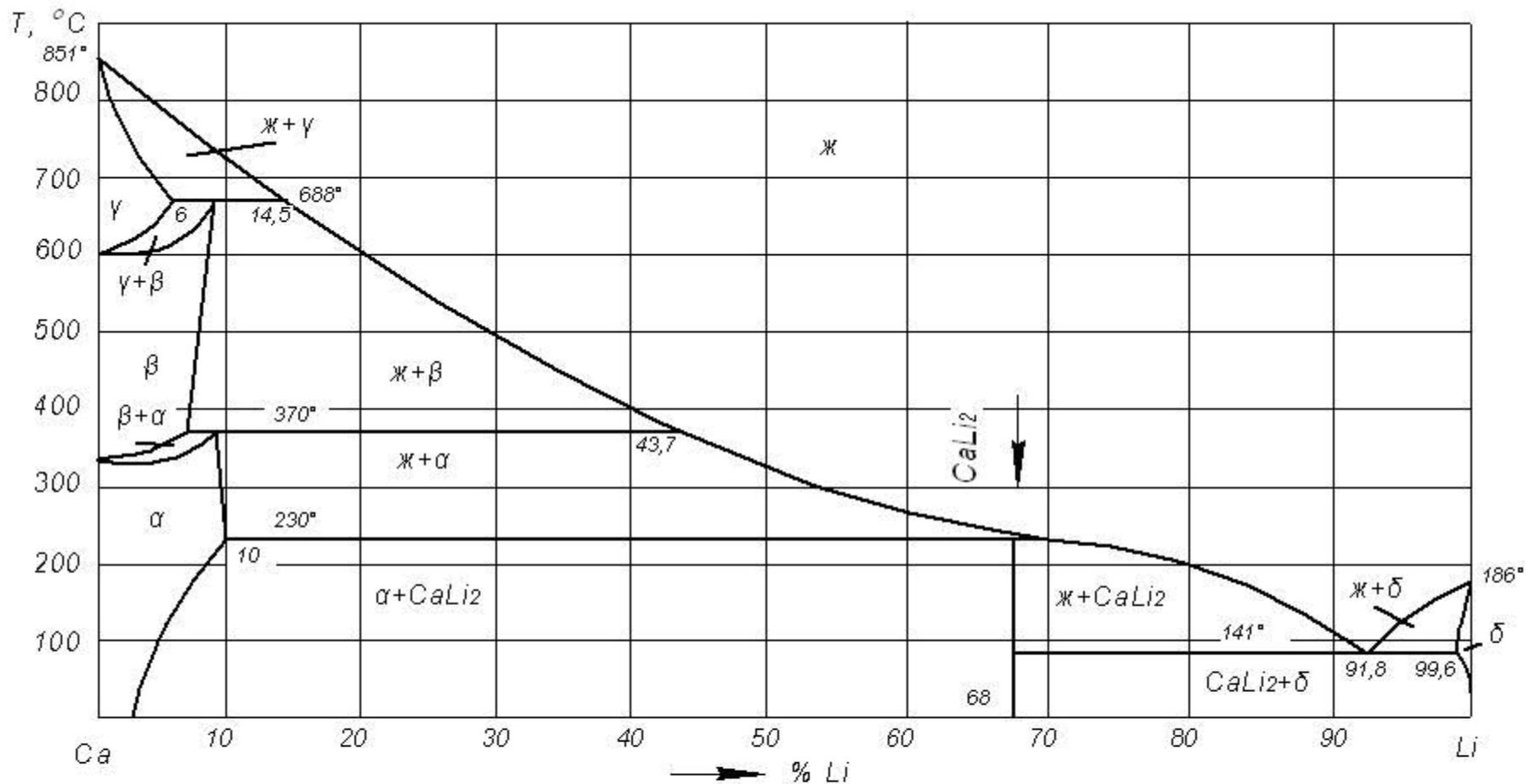


Диаграмма состояния системы "Кальций - литий"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
$\% \text{Li}$	5	8	10	30	40	50	12	70	80	95
$t, ^{\circ}\text{C}$	750	400	700	300	200	100	600	200	100	50

Задание № 17

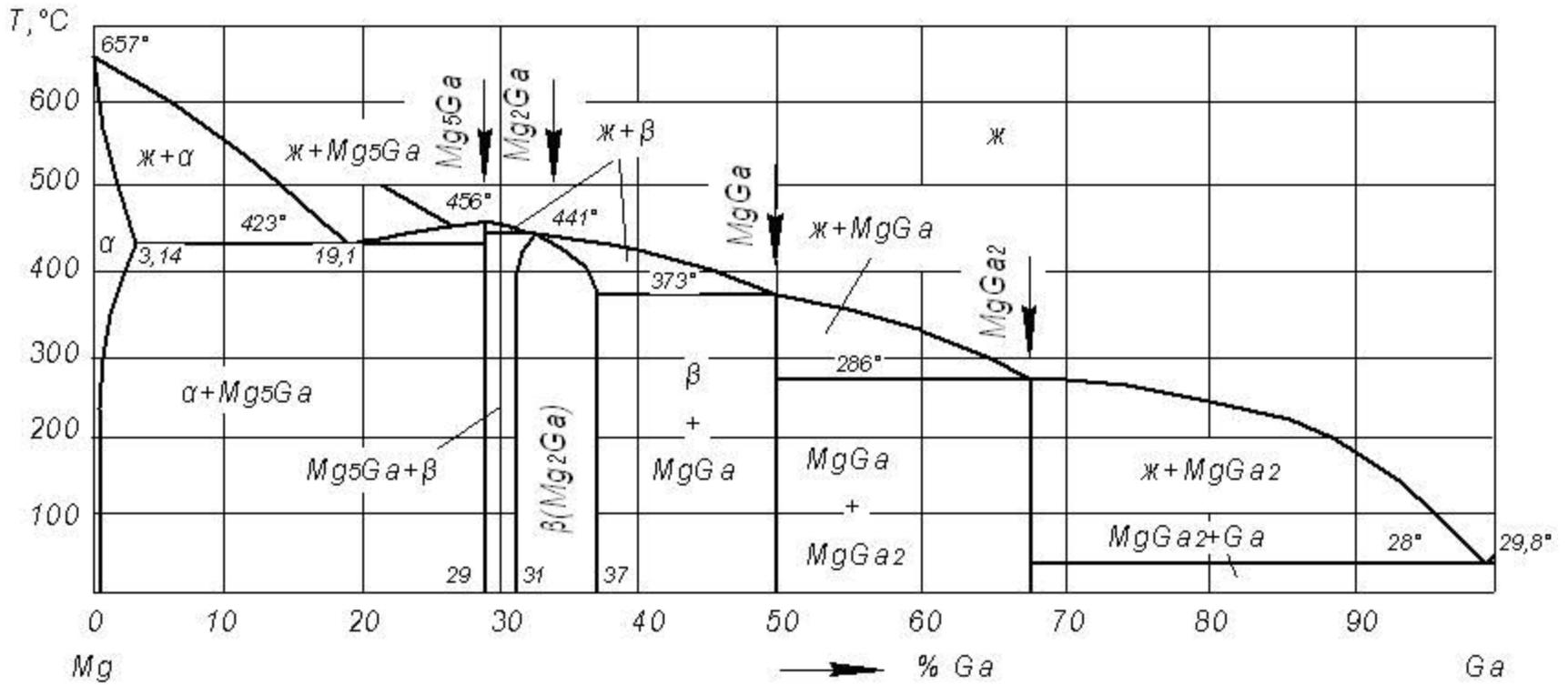


Диаграмма состояния "Магний - галлий"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Ga	10	12	20	45	40	55	60	70	80	90
t, °C	500	300	100	300	400	300	200	200	100	20

Задание № 18

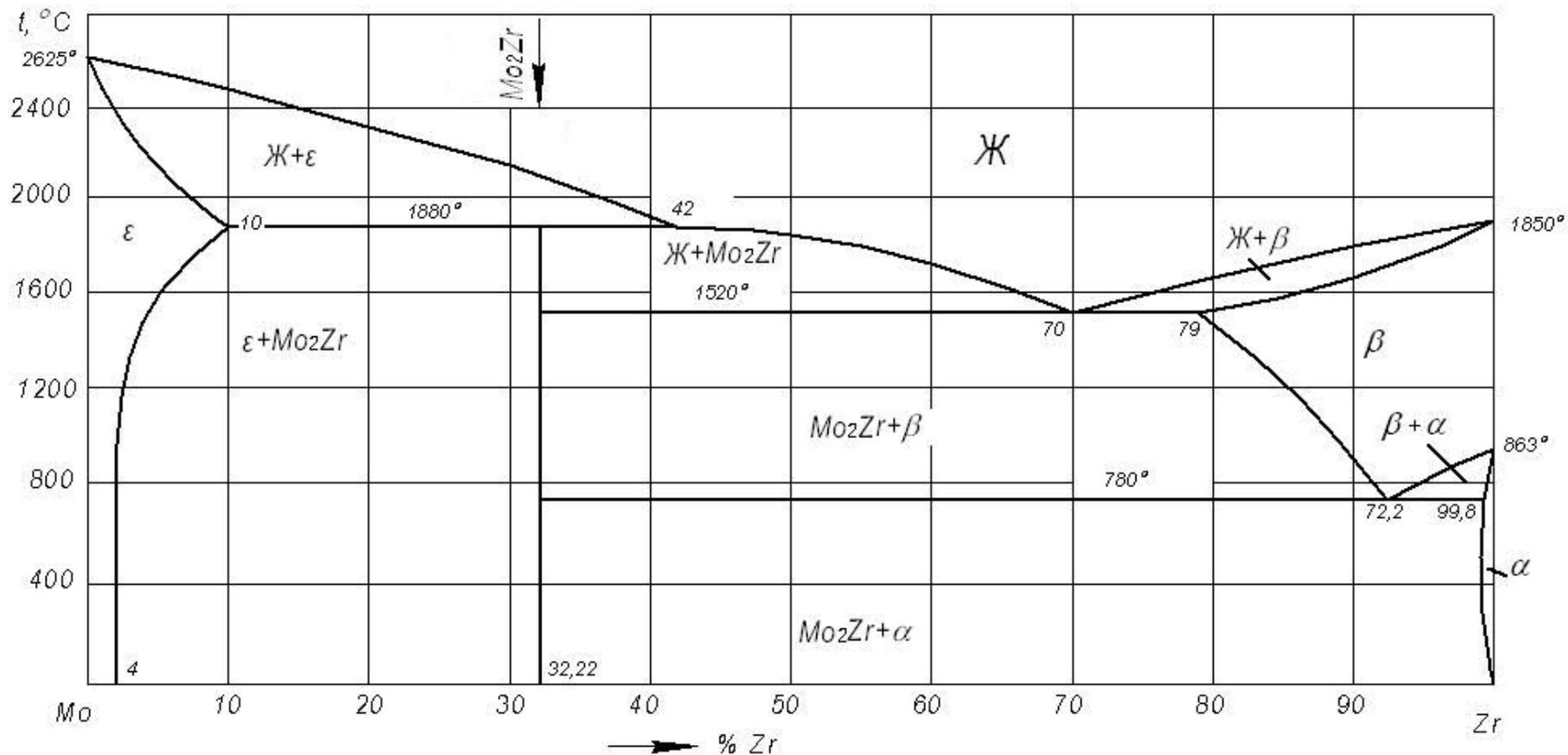


Диаграмма состояния системы "Молибден - цирконий"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Zr	5	20	38	45	60	73	80	85	95	10
$t, ^\circ\text{C}$	1200	1600	1200	1700	700	1000	1600	800	800	700

Задание № 19

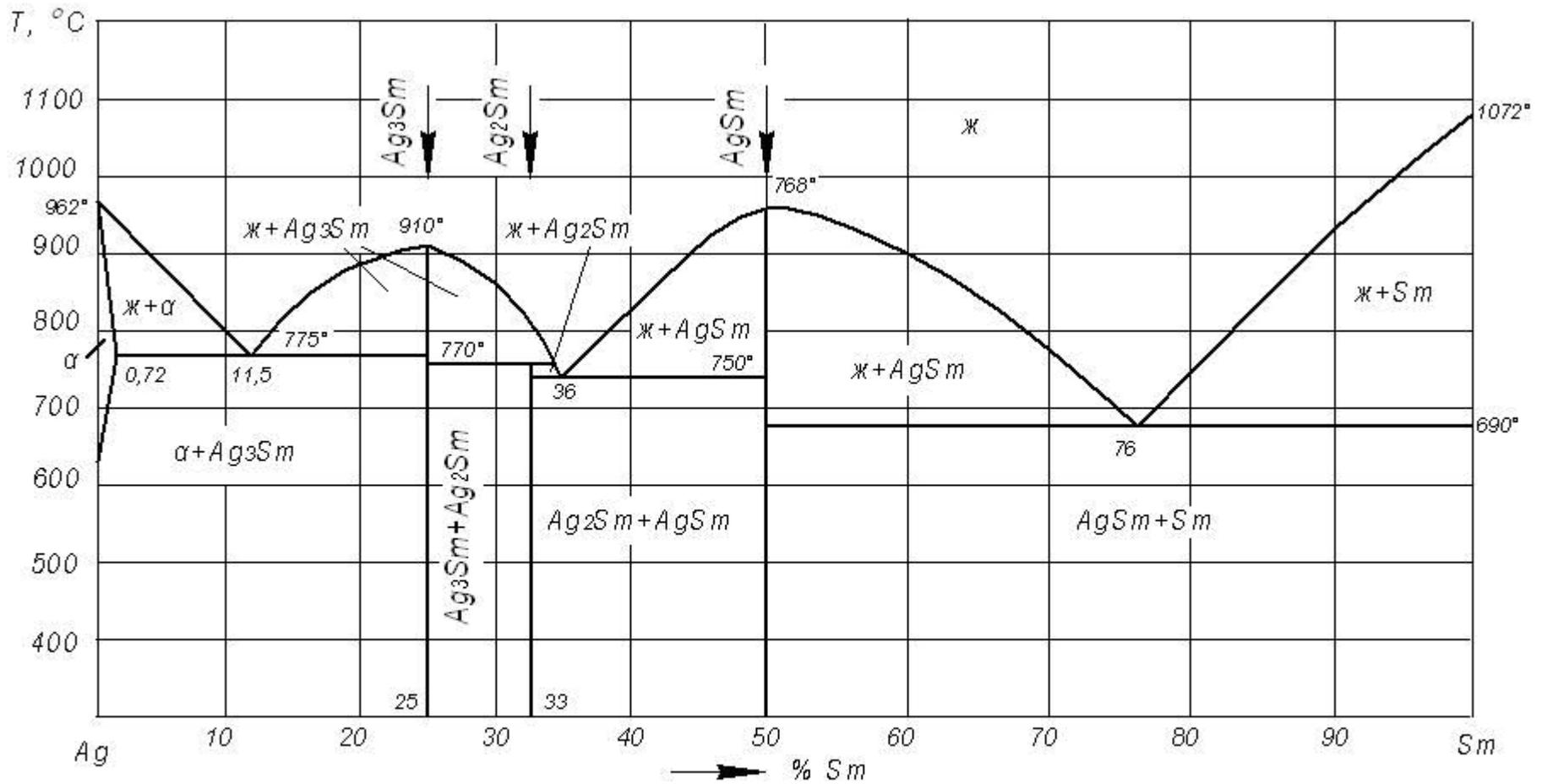


Диаграмма состояния системы "Серебро - самарий"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Sm	5	15	18	30	34	40	60	70	90	93
$t, ^\circ\text{C}$	800	600	800	800	600	800	400	700	800	500

Задание №20

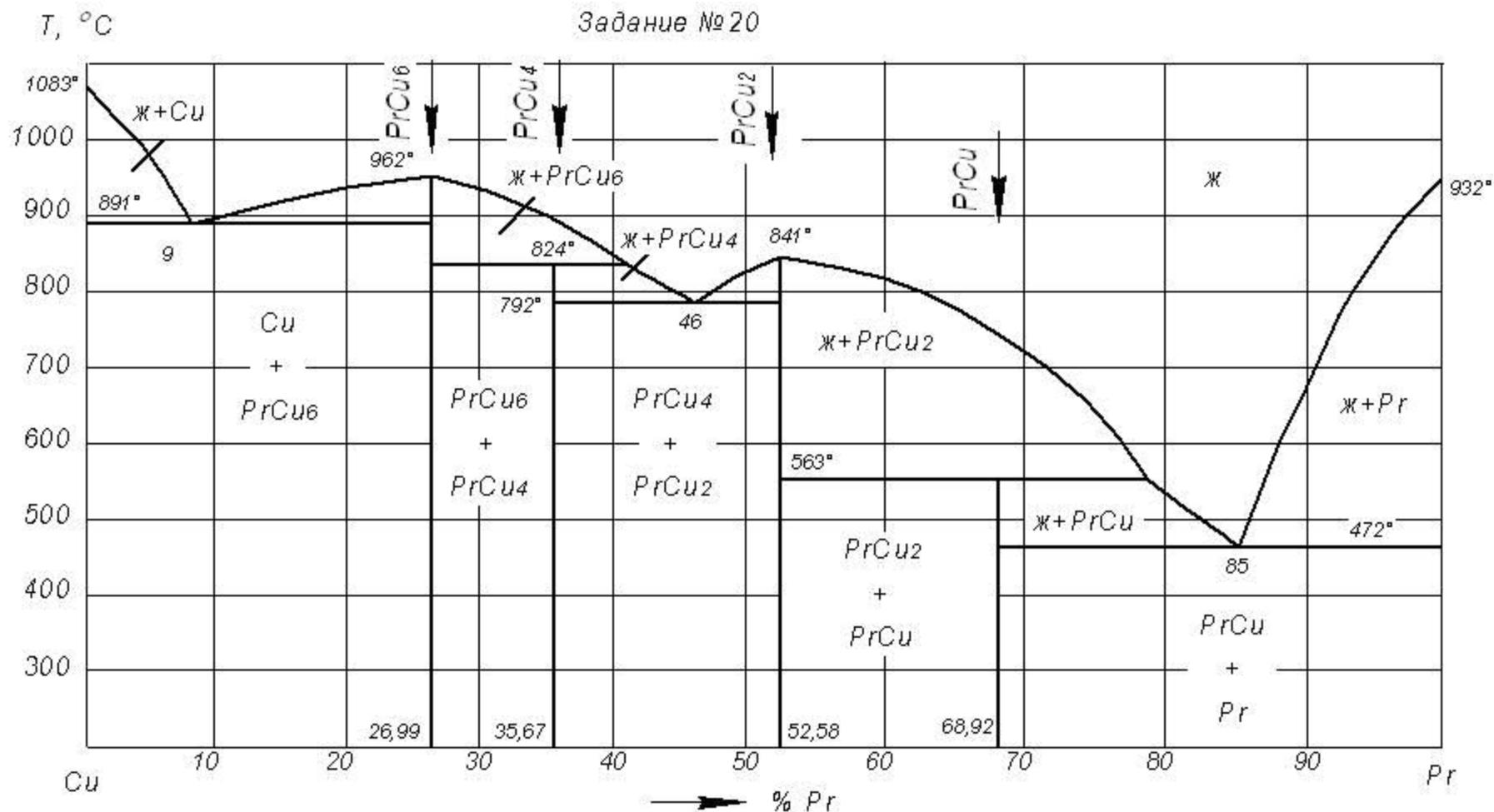


Диаграмма состояния системы "Медь - празеодим"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
$\% \text{Pr}$	5	11,5	30	40	45	55	65	73	84	92
$t, ^{\circ}\text{C}$	900	800	900	800	600	700	600	500	400	500

Задание № 21

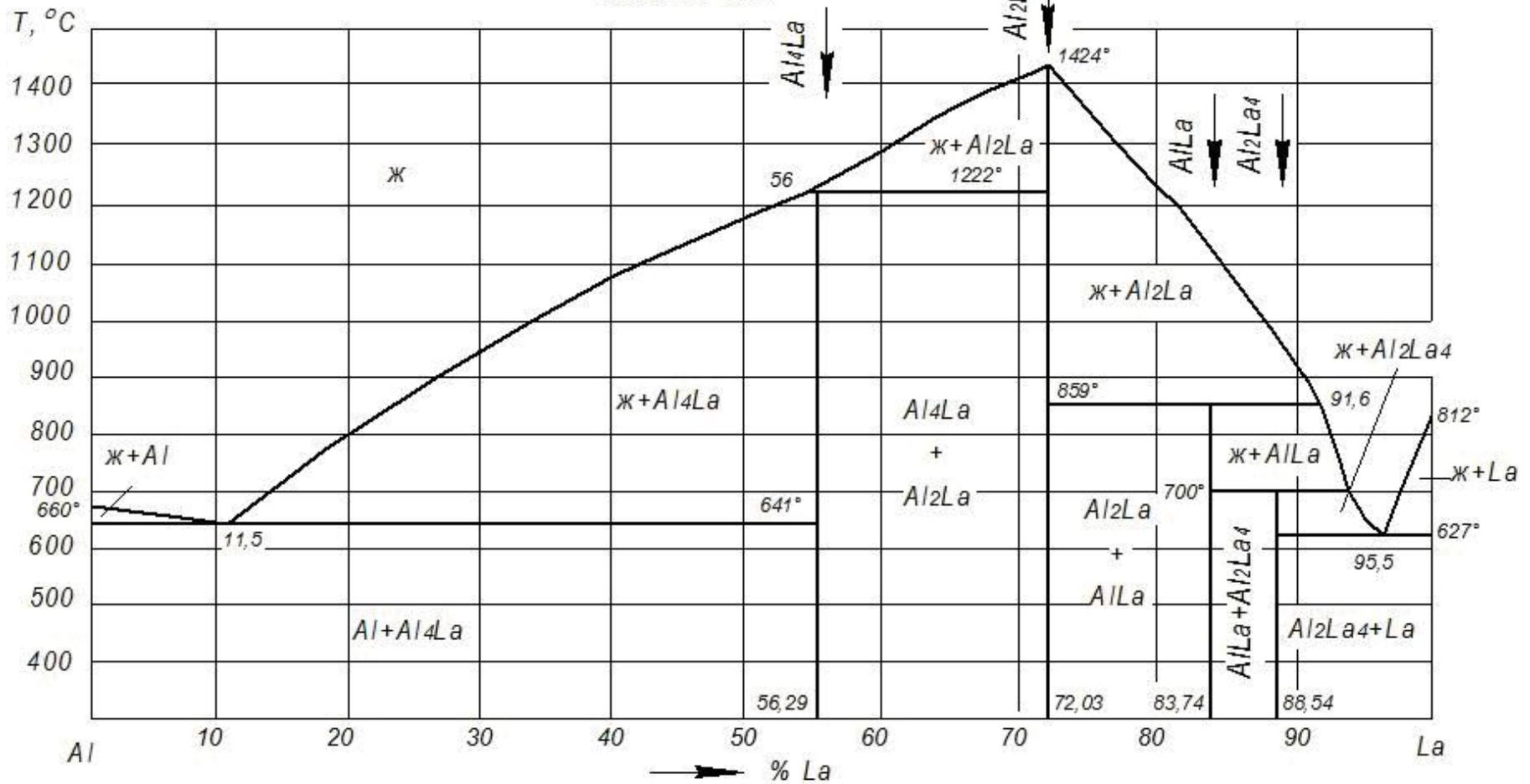


Диаграмма состояния системы "Алюминий - лантан"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% La	15	32	42	50	65	75	80	85	92	97
t, °C	700	500	900	400	1300	1100	900	800	650	400

Задание № 22

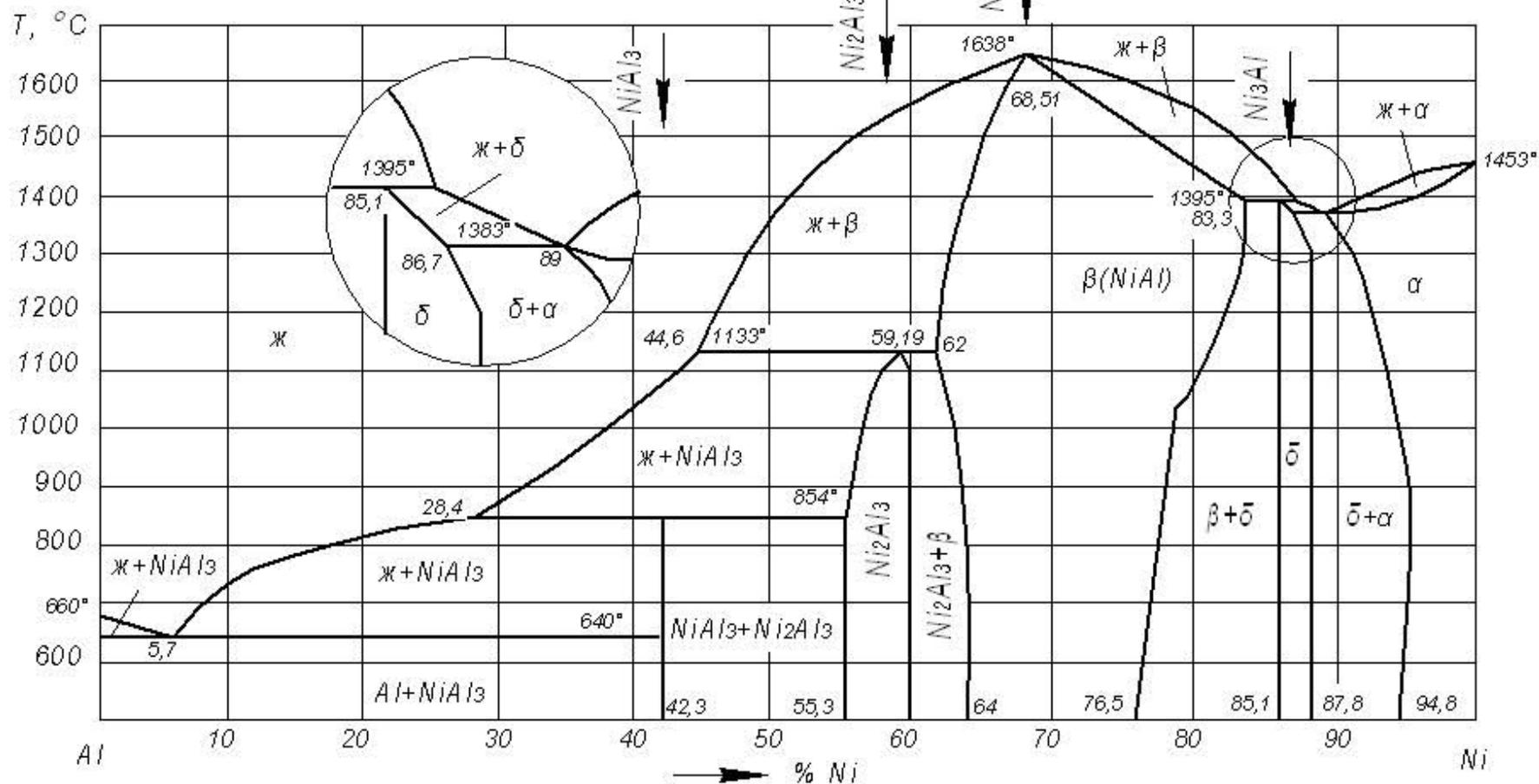


Диаграмма состояния системы "Алюминий - никель"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Ni	10	38	45	48	4	55	61	80	84	92
t, °C	700	900	1000	1200	600	1300	1500	1500	700	900

Задание № 23

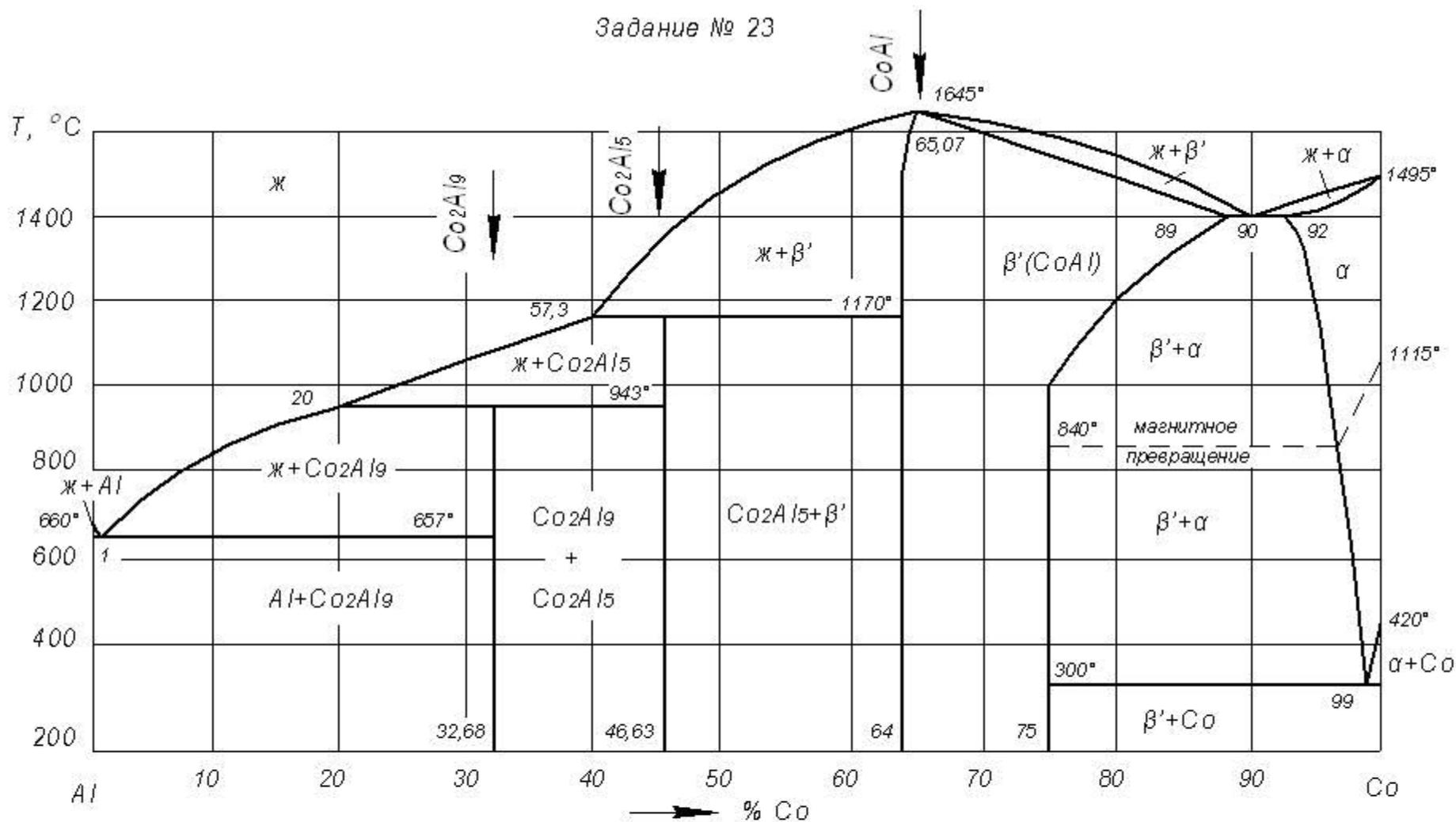


Диаграмма состояния системы "Алюминий - кобальт"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Co	10	22	30	35	42	55	62	80	84	94
t, °C	800	400	1000	400	1000	800	1400	600	1000	200

Задание № 24

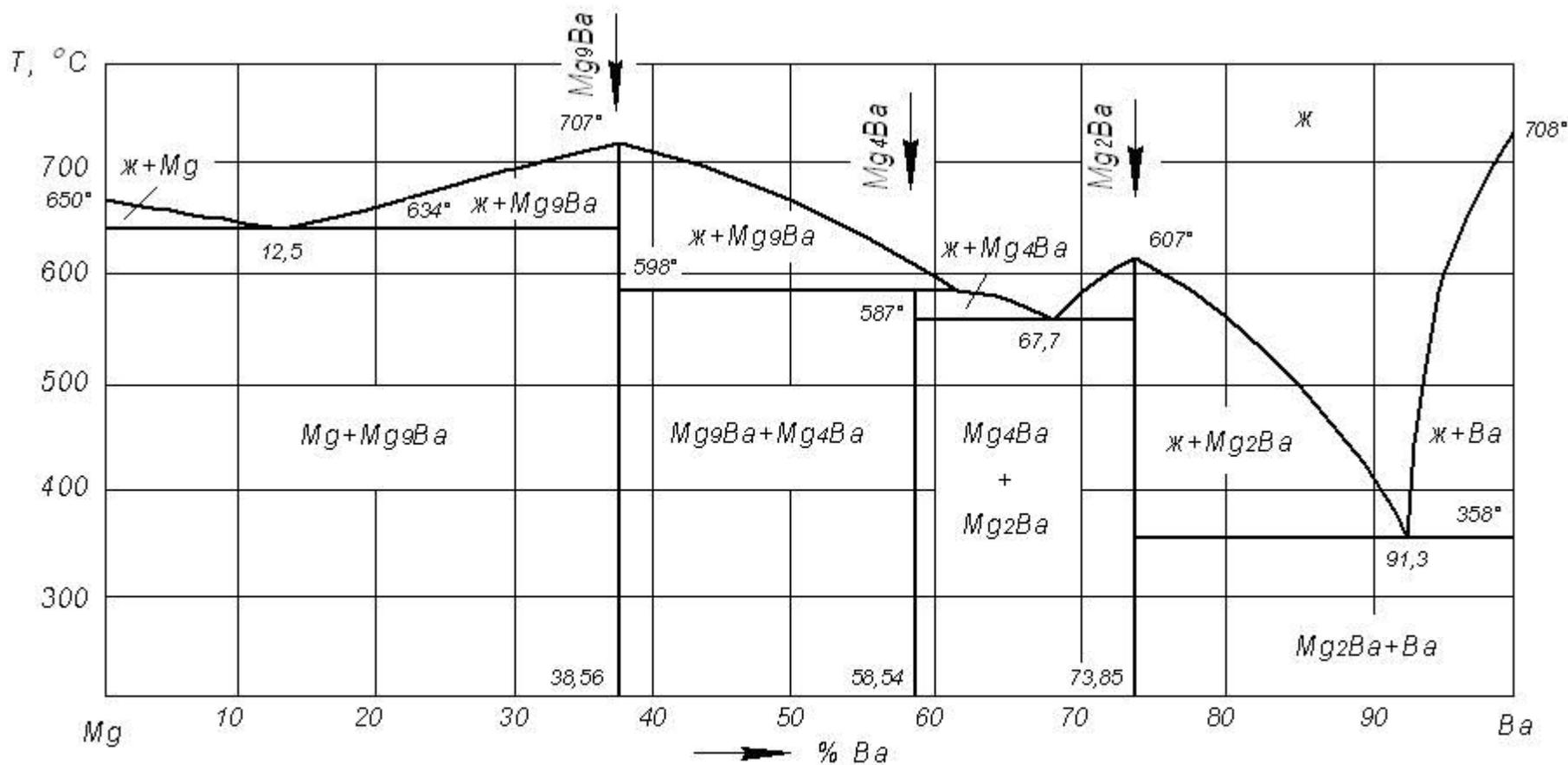


Диаграмма состояния системы "Магний - барий"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Ва	10	20	30	42	54	60	72	80	90	96
t, °C	500	600	650	600	350	500	590	500	300	400

Задание № 25

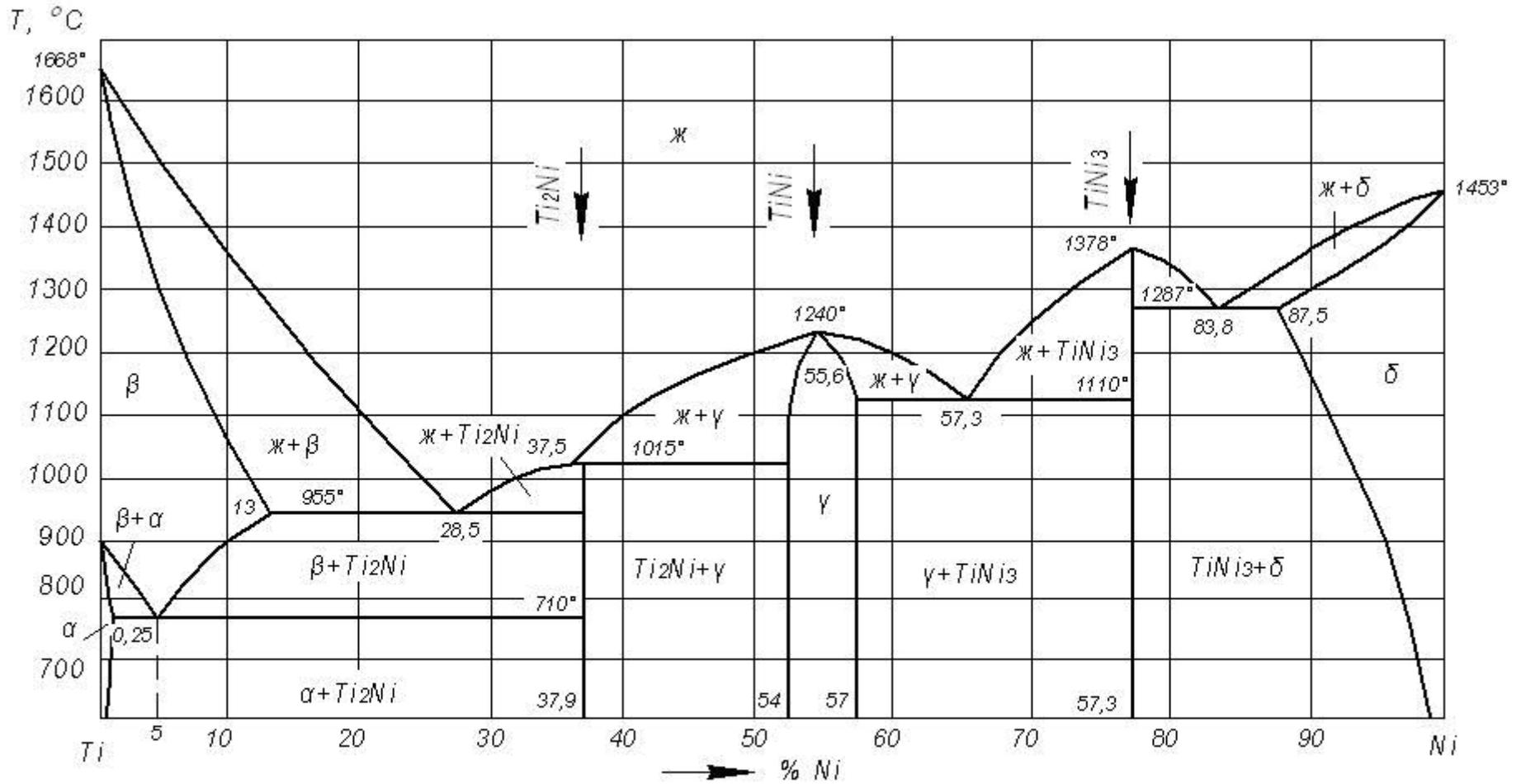
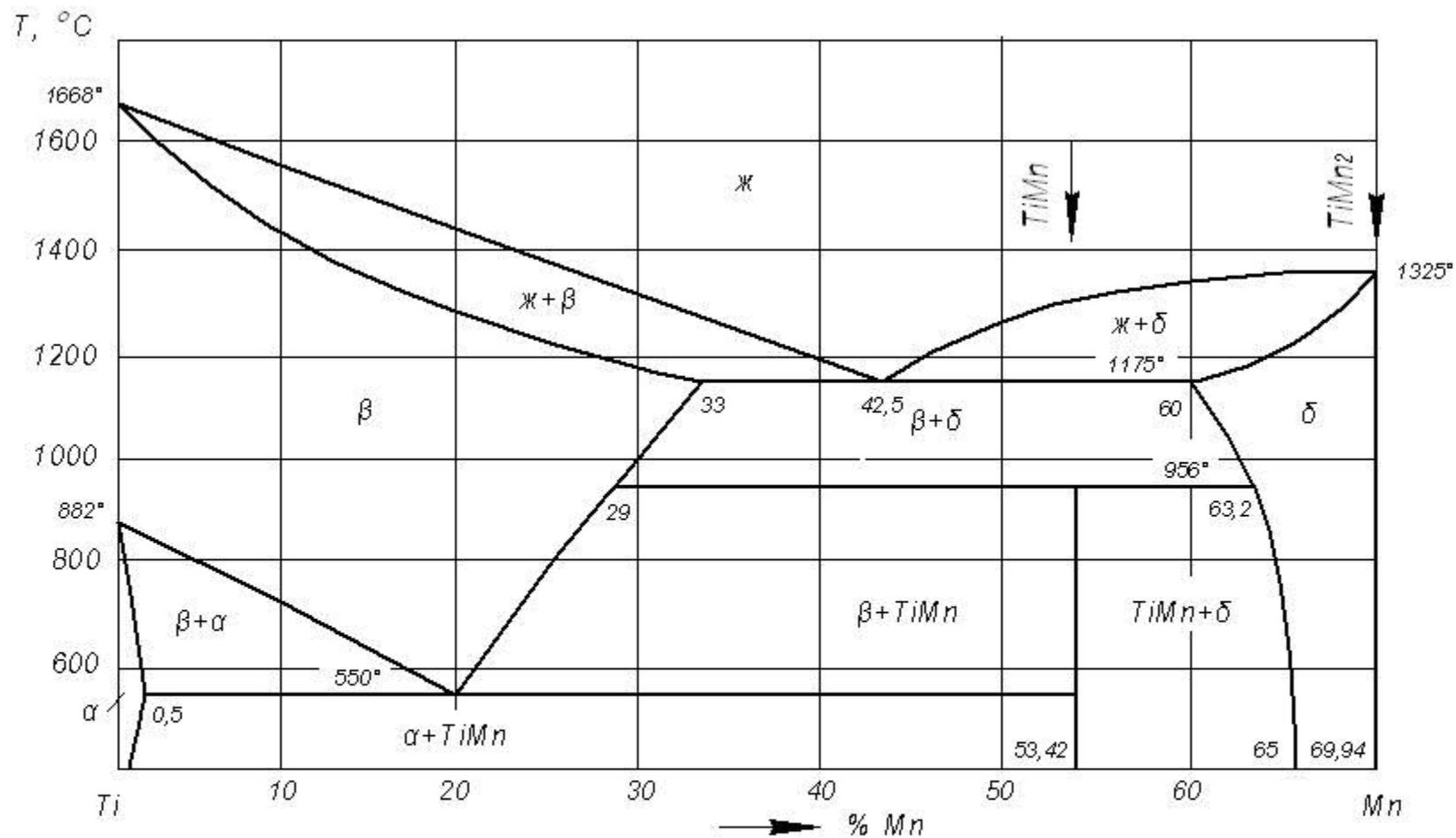


Диаграмма состояния системы "Титан - никель"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Ni	4	10	20	30	40	50	60	70	80	92
t, °C	700	1200	1000	900	800	1100	900	1200	900	700

Задание № 26



Часть диаграммы состояния системы "Титан - марганец"

Вариант	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К
% Mn	5	11,5	20	25	30	40	50	55	62	66
t, °C	1000	600	1400	1000	750	700	1000	600	1200	1300