

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
НЕОРГАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 541.123.3+549.76

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СТАБИЛЬНОМ ТРЕУГОЛЬНИКЕ  
NaF–Na<sub>3</sub>SiMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>SiWO<sub>4</sub> ЧЕТЫРЕХКОМПОНЕНТНОЙ  
СИСТЕМЫ NaF–NaCl–Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>

© 2023 г. И. К. Гаркушин<sup>а</sup>, А. А. Матвеев<sup>а</sup>, М. А. Сухаренко<sup>а</sup>, \*

<sup>а</sup>Самарский государственный технический университет,  
ул. Молодогвардейская, 244, Самара, 443100 Россия

\*e-mail: [sukhareno\\_maria@mail.ru](mailto:sukhareno_maria@mail.ru)

Поступила в редакцию 17.03.2023 г.

После доработки 25.08.2023 г.

Принята к публикации 28.08.2023 г.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование стабильного секущего треугольника NaF–Na<sub>3</sub>SiMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>SiWO<sub>4</sub> четырехкомпонентной системы NaF–NaCl–Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>. На основании проведенного обзора литературы по элементам ограничения системы установлено, что в исследуемом стабильном треугольнике возможны два варианта прогноза числа и состава кристаллизующихся фаз: в случае устойчивости твердых растворов образуются две твердые фазы, в случае распада – три твердые фазы. Экспериментальное исследование системы NaF–Na<sub>3</sub>SiMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>SiWO<sub>4</sub> проведено методами дифференциального термического и рентгенофазового анализа. Выявлены температура плавления и состав смеси, отвечающей точке *d*, которая лежит на монотонной кривой *e*<sub>1</sub>*e*<sub>2</sub>, соединяющей двойные эвтектики. Рентгенофазовый анализ образца сплава состава точки *d*, показал наличие двух твердых фаз – NaF и непрерывный ряд твердых растворов (НРТР) Na<sub>3</sub>SiMo<sub>*x*</sub>W<sub>*1-x*</sub>O<sub>4</sub>. Установлено отсутствие в исследуемой системе точек неинвариантных равновесий. Непрерывный ряд твердых растворов на основе соединений Na<sub>3</sub>SiMoO<sub>4</sub> и Na<sub>3</sub>SiWO<sub>4</sub> является устойчивым. Проекция фазового комплекса системы на треугольник составов представлена двумя полями кристаллизации исходных веществ: фторида натрия, поле которого является доминирующим, и НРТР Na<sub>3</sub>SiMo<sub>*x*</sub>W<sub>*1-x*</sub>O<sub>4</sub>.

**Ключевые слова:** физико-химический анализ, фазовые диаграммы, фазовые равновесия, непрерывный ряд твердых растворов

DOI: 10.31857/S0044457X23700253, EDN: ZKERDX

## ВВЕДЕНИЕ

Расплавляемые композиции на основе галогенидов, молибдатов и вольфраматов щелочных металлов находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Они используются для получения оксидных бронз, применяются для получения гальванических покрытий и синтеза молибдатов и вольфраматов *d*-элементов. Например, в работах [1, 2] показана возможность химического синтеза оксидных вольфрамовых бронз свинца и щелочных металлов в ионных расплавах многокомпонентных систем. В работе [3] предложен способ получения оксидных вольфрамовых бронз с помощью электроосаждения из поливольфраматных расплавов на никелевой подложке. В работе [4] показана возможность получения тонких вольфрамовых гальванических покрытий из расплавов вольфраматов щелочных металлов. Разработка рационального способа получения молибдата кобальта в высокодисперсном

состоянии при относительно низкой температуре показана в работе [5].

Прогресс в области получения и исследования новых материалов невозможен без детального изучения фазовых диаграмм многокомпонентных систем [6–15]. Исследование фазовых равновесий в солевых, оксидных, органических системах сегодня является актуальной задачей [16–21]. Тем не менее многие фазовые диаграммы остаются недостаточно изученными.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Разбиение на симплексы четырехкомпонентной системы NaF–NaCl–Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> проводили геометрическим методом. Остов и развертка составов исследуемой системы приведены на рис. 1. На двойных сторонах NaCl–Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> и NaCl–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> имеются соединения конгруэнтного типа плавления – Na<sub>3</sub>SiMoO<sub>4</sub> (D<sub>1</sub>) и Na<sub>3</sub>SiWO<sub>4</sub> (D<sub>2</sub>) соответственно. На сторонах NaF–Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> и

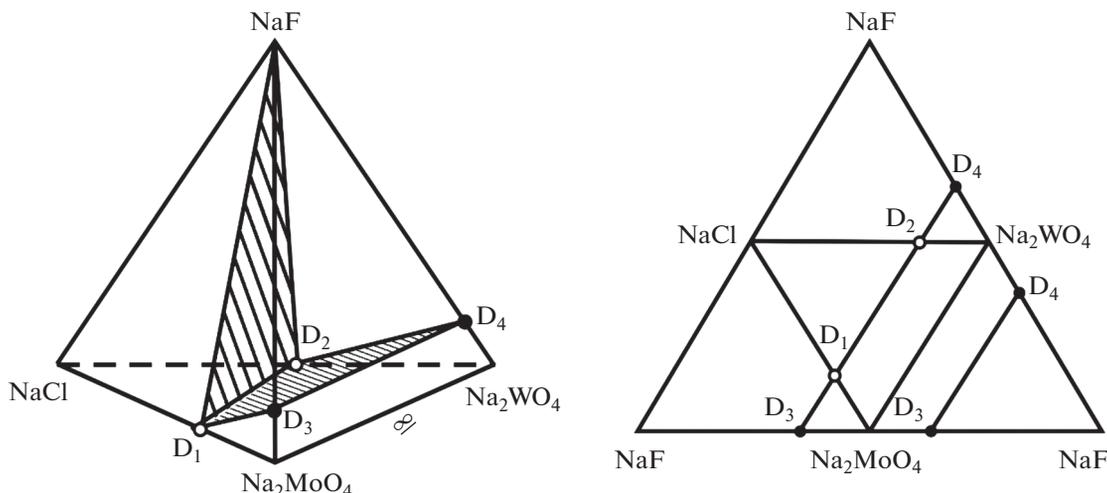


Рис. 1. Остов и развертка составов четырехкомпонентной системы NaF–NaCl–Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>.

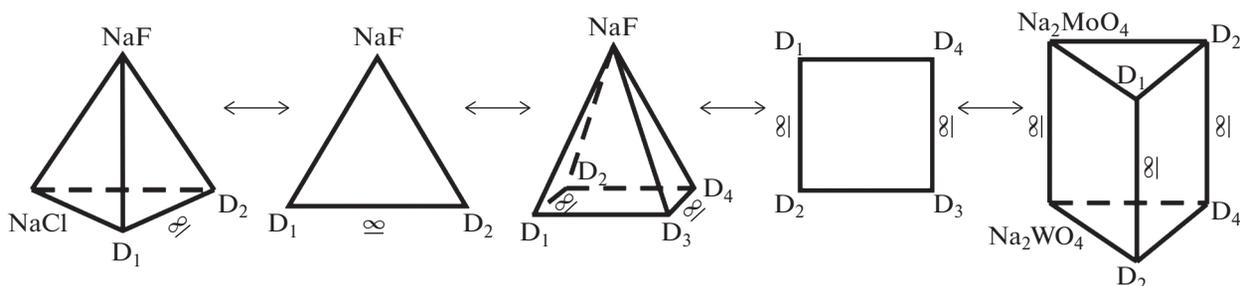


Рис. 2. Древо фаз четырехкомпонентной системы NaF–NaCl–Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>.

NaF–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> существуют соединения инконгруэнтного типа плавления – Na<sub>3</sub>FMoO<sub>4</sub> (D<sub>3</sub>) и Na<sub>3</sub>FWO<sub>4</sub> (D<sub>4</sub>) соответственно. Все четыре соединения участвуют в разбиении системы на симплексы. Древо фаз представлено на рис. 2. Оно имеет линейное строение и состоит из стабильного тетраэдра NaF–NaCl–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>, пентагопа NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FWO<sub>4</sub> и гексагопа Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FWO<sub>4</sub>, разделенных секущими треугольником NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> и квадратом Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FWO<sub>4</sub>.

Объектом исследования в настоящей работе является стабильный секущий треугольник NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> четырехкомпонентной системы NaF–NaCl–Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>. Треугольник NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> образован тремя индивидуальными веществами, два из которых являются соединениями конгруэнтного типа плавления. Данные соединения были синтезированы из хлорида и молибдата натрия, а также хлорида и вольфрамата натрия. Термические и термо-

динамические свойства индивидуальных веществ приведены в табл. 1 [22]. Элементами ограничения стабильного треугольника NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> являются три двухкомпонентные системы: NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>, NaF–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>, Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> [23, 24]. Из них первые две относятся к эвтектическим, а в системе Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> образуется непрерывный ряд твердых растворов Na<sub>3</sub>ClMo<sub>x</sub>W<sub>1-x</sub>O<sub>4</sub> на основе соединений Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub> и Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>. Таким образом, в тройной системе возможны два варианта прогноза числа и состава кристаллизующихся фаз:

1) В случае устойчивости НРТР в трехкомпонентной системе будут кристаллизоваться две твердые фазы: NaF + Na<sub>3</sub>ClMo<sub>x</sub>W<sub>1-x</sub>O<sub>4</sub>.

2) В случае распада НРТР в системе будут три кристаллизующиеся фазы: NaF, ограниченный ряд твердых растворов (ОТР) на основе соединения Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub> и ОТР на основе Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>.

Приведем данные, имеющиеся в литературе, по элементам ограничения стабильного треугольника NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> [23, 24].

Таблица 1. Термические и термодинамические свойства индивидуальных веществ

Вещество	$M$ , г/моль	$T_{пл}$ , °C	Полиморфный переход, °C	$-\Delta_f H_{298}^\circ$ , кДж/моль	$-\Delta_f G_{298}^\circ$ , кДж/моль	Ссылка
NaF	41.9882	996	—	$572,831 \pm 1.255$	542.572	[22]
NaCl	58.4428	801	—	$384.384 \pm 0.251$	$384.384 \pm 2.259$	[22]
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	205.9172	688	635	$1469.002 \pm 0.418$	1355.147	[22]
Na <sub>2</sub> WO <sub>4</sub>	293.8272	696	589	1547.661	1433.099	[22]

**Квазидвойная система NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>.** В системе образуется двойная эвтетика с температурой плавления 598°C и составом 17.5 экв. % NaF + 82.5 экв. % Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>. Твердые фазы – NaF, Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>.

**Квазидвойная система NaF–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>.** В системе происходит образование эвтектики с температурой плавления 637°C и составом 79 экв. % NaF + 21 экв. % Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>. Твердые фазы – NaF, Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> [23].

**Двойная система Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>.** Точки неинвариантных равновесий отсутствуют, образуется НРТР на основе соединений Na<sub>3</sub>ClMo<sub>x</sub>W<sub>1-x</sub>O<sub>4</sub> [24].

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследование фазовых равновесий в стабильном треугольнике NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> и элементах его ограничения проводили с помощью дифференциального термического анализа (ДТА) на установке с верхним подводом термопар [25]. Установка включает печь шахтного типа, в которую опускаются платиновые микроиглы (изделия № 108-2, 108-3 по ГОСТ 13498-68) с исследуемым составом и с индифферентным веществом – свежeproкаленным Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ч. д. а.). Холодные спаи термостатировали при 0°C с помощью сосуда Дьюара с тающим льдом. Сигнал от термопар поступал на АЦП и преобразовывался в цифровой сигнал с выводом на компьютер. Фиксировали температурную и дифференциальную кривые. Градуировку термопар осуществляли по известным температурам плавления и полиморфных превращений безводных неорганических солей [22]. Исследования проведены до 750°C.

Скорость нагрева (охлаждения) образцов составляла 10–15 град/мин. Точность измерения температур составляла ±2.5°C, при точности взвешивания составов ±0.0001 г на аналитических весах. Составы всех смесей, приведенные в настоящей работе, выражены в молярных концентрациях эквивалентов, температуры – в градусах Цельсия. Масса исходных смесей составляла 0.3 г.

Рентгенофазовый анализ (РФА) осуществляли с помощью метода Дебая–Шерера (метод порошка) [26] на дифрактометре Arl X'tra. Прибор скон-

струирован по принципу вертикальной геометрии Брэгга–Брентано. Съемку дифрактограмм осуществляли при CuK<sub>α</sub>-излучении с никелевым β-фильтром. Режим съемки образца: напряжение на трубке 35 кВ, ток рентгеновской трубки 10 мА, скорость съемки –1 град/мин, угловые отметки через  $\theta = 1^\circ$ . Образцы для РФА отжигали в платиновых тиглях при температуре на 10–20°C ниже температур конечного затвердевания расплавов в течение 2 ч, затем закаляли на льду, перетирали в агатовой ступке и запрессовывали в кюветы. Идентификацию фаз осуществляли по межплоскостным расстояниям  $d$  (нм) и относительным интенсивностям  $I/I_0$  (%) рефлексов с использованием картотеки ICDD и программы PCPDFWIN. Съемку рентгенограмм проводили в лаборатории РФА кафедры физики СамГТУ.

Реактивы, использованные в работе, имели следующие квалификации: NaF “х. ч.” (99.9%), NaCl “х. ч.” (99.9%), Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> “ч. д. а.” (99.5 мас. %), Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> “ч. д. а.” (99.5%). Температуры плавления исходных солей, определенные методом ДТА (при точности измерения ±2.5°C) равны: NaF – 996°C, NaCl – 803°C, Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> – 687°C, Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> – 695°C, т.е. влияние имеющихся примесей на температуры плавления исходных солей незначительно. Поэтому были приняты данные, приведенные в [22]. Исходные реактивы были предварительно высушены и после охлаждения в сухом боксе помещены в бюксы, а бюксы – в эксикатор с осушителем (силикагель).

**Квазидвойная система NaF–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>** экспериментально изучена методом ДТА для проверки данных, имеющихся в литературе [23].  $T$ - $x$ -диаграмма системы представлена на рис. 3. В ходе исследования выявлено несоответствие экспериментальных данных с данными литературы. Согласно [23], температура плавления эвтектики составляет 598°C, состав – 17.5 экв. % NaF + 82.5 экв. % Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>. Выявленные в результате экспериментального исследования характеристики системы: температура плавления двойной эвтектики  $e_4$ : 632°C, состав 16 экв. % NaF, 84 экв. % Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>.

**Стабильный треугольник NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>** включает следующие системы ограни-

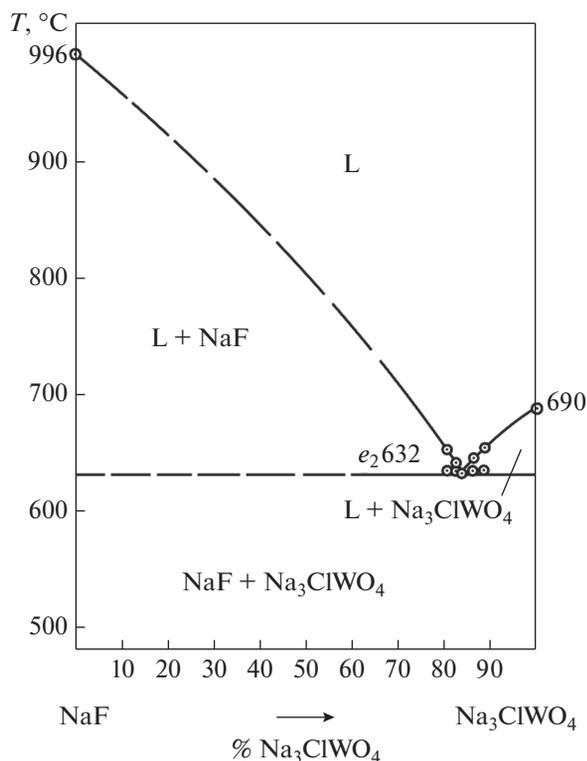


Рис. 3.  $T$ - $x$ -диаграмма двухкомпонентной системы NaF–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>.

ния: две эвтектические системы NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub> и NaF–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> с температурами плавления двойных эвтектик  $e_1$  598°C,  $e_3$  632°C соответственно; третья система Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> является системой с образованием НРТР без экстремумов. Проекция фазового комплекса трехкомпонентной системы на треугольник составов приведена на рис. 4. Для экспериментального исследования тройной системы в поле кристаллизации NaF был выбран политермический разрез АВ [А (20 экв. % NaF, 80 экв. % Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>), В (20 экв. % NaF, 80 экв. % Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>)] в соответствии с правилами проекционно-термографического метода [27].  $T$ - $x$ -диаграмма разреза АВ приведена на рис. 5. Из диаграммы видно, что эффекты третичной кристаллизации отсутствуют. Исследованием политермического разреза, проведенного из вершины NaF через точку  $\bar{d}$  (рис. 6), выявлен состав и температура плавления сплава, отвечающего точке  $d$ , лежащей на моновариантной кривой  $e_1e_2$ . Температура плавления 615°C, состав: NaF – 17 экв. %, Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub> – 38.5 экв. %, Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> – 38.5 экв. %. Проведен рентгенофазовый анализ образца состава, соответствующего точке  $d$ . Дифрактограмма приведена на рис. 7.

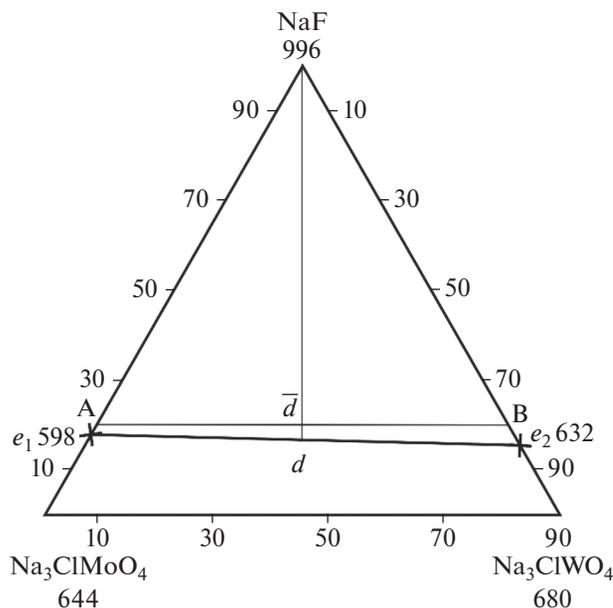


Рис. 4. Проекция ликвидуса на плоскость треугольника составов тройной системы NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Геометрическим методом проведено разбиение на симплексы четырехкомпонентной системы NaF–NaCl–Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub> и построено линейное древо фаз, которое представлено на рис. 2. Древо фаз состоит из стабильных тетраэдров NaF–NaCl–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>, пентатопы NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FWO<sub>4</sub> и гексатопы Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>–Na<sub>2</sub>WO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FWO<sub>4</sub>, разделенных стабильным треугольником NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub> и квадратом Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>FWO<sub>4</sub>.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование стабильного секущего треугольника NaF–Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub>–Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>. Обзор литературы по элементам ограничения системы показал, что две системы ограничения являются эвтектическими, а третья система – с образованием НРТР Na<sub>3</sub>ClMo<sub>x</sub>W<sub>1-x</sub>O<sub>4</sub>. Таким образом, в стабильном треугольнике возможны следующие варианты прогноза числа и состава кристаллизующихся фаз: в случае устойчивости НРТР в треугольнике будут кристаллизоваться две твердые фазы – NaF и Na<sub>3</sub>ClMo<sub>x</sub>W<sub>1-x</sub>O<sub>4</sub>; в случае распада НРТР в треугольнике будут три кристаллизующиеся фазы: NaF, ОТР на основе соединения Na<sub>3</sub>ClMoO<sub>4</sub> и ОТР на основе соединения Na<sub>3</sub>ClWO<sub>4</sub>.

Экспериментально подтверждено отсутствие четырехфазного равновесия, т.е. в стабильном треугольнике отмечены дивариантные и моно-

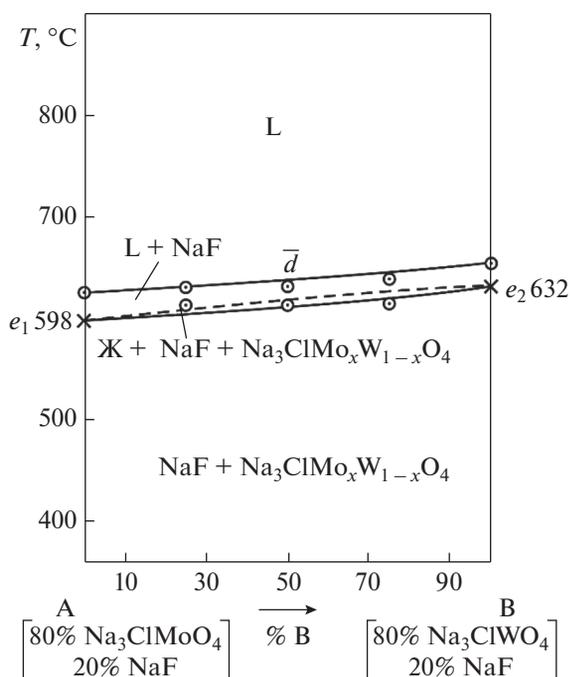


Рис. 5.  $T$ - $x$ -диаграмма политермического разреза АВ.

риантное равновесия.  $T$ -диаграмма политермического разреза АВ, приведенная на рис. 5, подтверждает отсутствие точек невариантных равновесий. Линия первичной кристаллизации представлена на диаграмме в виде плавной кривой, она соответствует кристаллизации из расплава NaF. Линия вторичной кристаллизации представлена в виде “линзы”, она соответствует совместной кристаллизации NaF и НРТР  $\text{Na}_3\text{ClMo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$ . Таким образом, экспериментально подтвержден первый вариант прогноза числа и состава кристаллизующихся фаз.

Исследованием политермического разреза, проведенного из вершины NaF через точку  $\bar{d}$ , выявлены состав и температура плавления сплава, отвечающего точке  $d$ , лежащей на моновариантной кривой  $e_1e_2$ . Температура плавления  $615^\circ\text{C}$ , состав: NaF – 17 экв. %,  $\text{Na}_3\text{ClMoO}_4$  – 38.5 экв. %,  $\text{Na}_3\text{ClWO}_4$  – 38.5 экв. %.

Таблица 2. Фазовые равновесия в трехкомпонентной системе NaF– $\text{Na}_3\text{ClMoO}_4$ – $\text{Na}_3\text{ClWO}_4$

Элемент диаграммы	Фазовое равновесие
Поля	
$e_1e_2\text{NaF}$	$L \rightleftharpoons \text{NaF}$
$e_1e_2\text{Na}_3\text{ClMoO}_4\text{Na}_3\text{ClWO}_4$	$L \rightleftharpoons \text{Na}_3\text{ClMo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$
Линии	
$e_1e_2$	$L \rightleftharpoons \text{NaF} + \text{Na}_3\text{ClMo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$

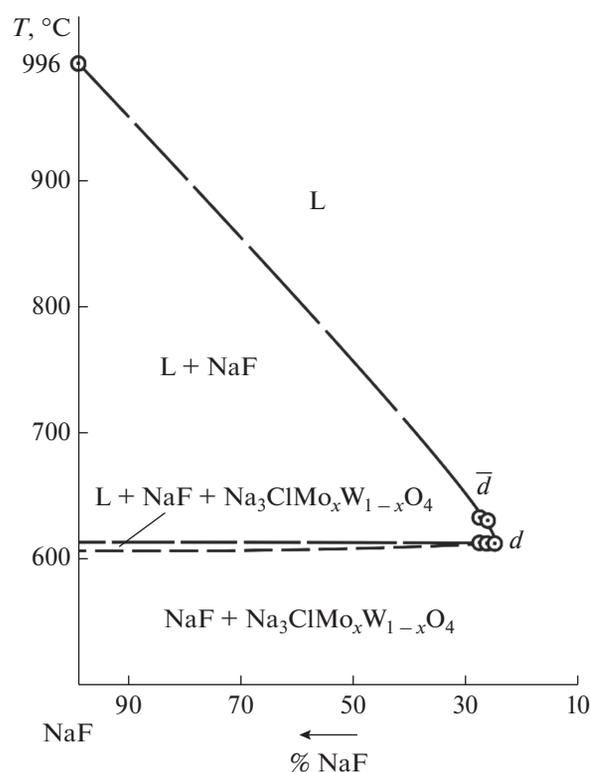


Рис. 6.  $T$ - $x$ -диаграмма политермического разреза NaF  $\rightarrow \bar{d} \rightarrow d$ .

Рентгенофазовый анализ образца, состава точки  $d$  показал наличие в образце двух твердых фаз – фторида натрия и НРТР на основе соединений  $\text{Na}_3\text{FMo}_{0.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_4$  (рис. 7). Экспериментально установлено, что в системе отсутствуют точки невариантных равновесий. НРТР является устойчивым и не распадается.

Проекция ликвидуса стабильного треугольника представлена двумя полями – NaF и НРТР  $\text{Na}_3\text{ClMo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$ . Наибольшее поле кристаллизации принадлежит фториду натрия – наиболее тугоплавкому компоненту. В табл. 2 приведены уравнения фазовых реакций для различных элементов фазовой диаграммы стабильного треугольника.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование стабильно секущего треугольника NaF– $\text{Na}_3\text{ClMoO}_4$ – $\text{Na}_3\text{ClWO}_4$  четырехкомпонентной системы NaF–NaCl– $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ – $\text{Na}_2\text{WO}_4$  методами ДТА и РФА. Установлено отсутствие в системе точек невариантных равновесий и наличие двух кристаллизующихся фаз на линии моновариантных равновесий – фторида натрия и НРТР  $\text{Na}_3\text{ClMo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$ .

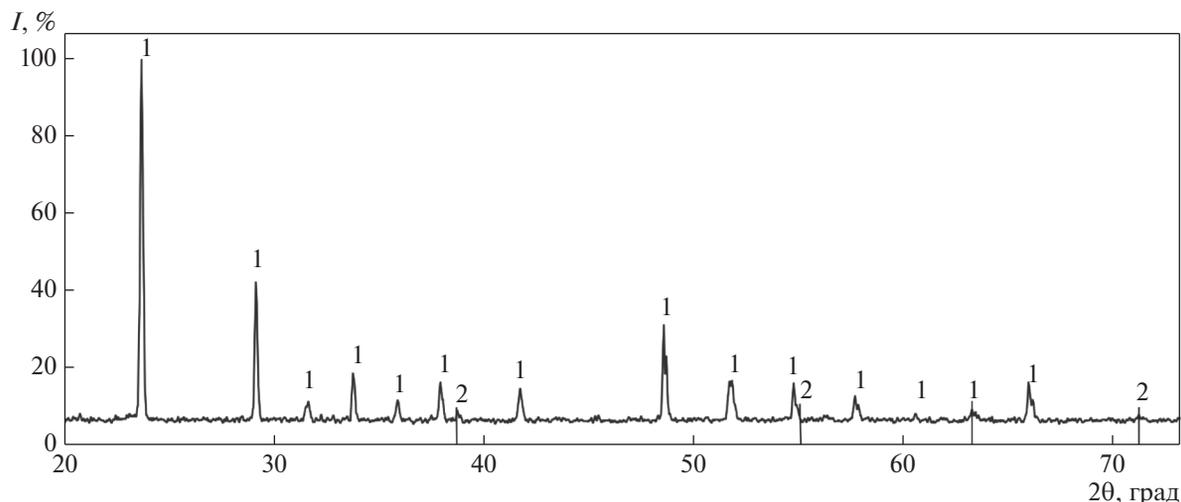


Рис. 7. Дифрактограмма образца состава точки *d*. Фаза 1 – НРTP  $\text{Na}_3\text{ClMo}_{0.5}\text{W}_{0.5}\text{O}_4$ ; фаза 2 – NaF.

Выявлены характеристики сплава, отвечающего точке *d*, лежащей на моновариантной кривой, соединяющей двойные эвтектики  $e_1e_2$ : температура плавления – 615°C, состав: NaF – 17 экв. %,  $\text{Na}_3\text{ClMoO}_4$  – 38.5 экв. %,  $\text{Na}_3\text{ClWO}_4$  – 38.5 экв. %.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации тема № FSSE-2023-0003 в рамках государственного задания самарского государственного технического университета.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочкаров Ж.А., Бисергаева Р.А. // *Материаловедение*. 2022. № 4. P. 12. <https://doi.org/10.31044/1684-579X-2022-0-6-17-22>
2. Кочкаров Ж.А. // *Материаловедение*. 2022. № 6. P. 17. <https://doi.org/10.31044/1684-579X-2022-0-4-12-18>
3. Kosov A.V., Semerikova O.L., Vakarin S.V. et al. // *Russ. Metallurgy (Metally)*. 2019. № 8. P. 803. <https://doi.org/10.1134/S0036029519080093>
4. Qin W., Xi X., Zhang Q., Zhang L. et al. // *Intern R. Electrochem Sc*. 2019. V. 14. № 11. P. 10420. <https://doi.org/10.20964/2019.11.15>
5. Черкесов З.А. // *Изв. ВУЗов. Сер.: хим. и хим. технология*. 2020. Т. 63. № 9. С. 2019. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20206309.6205>
6. Mamedov F.M., Babanly D.M., Amiraslanov I.R. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2020. V. 65. № 11 P. 1747. <https://doi.org/10.1134/S0036023620110121>
7. Aliev I.I., Mamedova N.A., Sadygov F.M. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2020. V. 65. № 10. P. 1585. <https://doi.org/10.1134/S0036023620100010>
8. Asadov M.M., Akhmedova N.A., Mamedova S.R. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2020. V. 65. № 7. P. 1061. <https://doi.org/10.1134/S0036023620070013>
9. Likhacheva S.S., Egorova E.M., Garkushin I.K. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2020. V. 65. № 7. P. 1047. <https://doi.org/10.1134/S0036023620070141>
10. Soliev L. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2020. V. 65. № 2. P. 212. <https://doi.org/10.1134/S0036023620020187>
11. Garkushin I.K., Burchakov A.V., Sukhareno M.A. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2020. V. 65. № 7. P. 1398. <https://doi.org/10.1134/S003602362009003X>
12. Kertman A.V., Ruseikina A.V. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2020. V. 65. № 11. P. 1756. <https://doi.org/10.1134/S003602362011008X>
13. Cherkasov D.G., Danilina V.V., Il'in K.K. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2021. V. 66. № 7. P. 883. <https://doi.org/10.1134/S0036023621060073>
14. Kistanova N.S., Mazunin S.A. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2020. V. 66. № 2. P. 250. <https://doi.org/10.1134/S0036023620090077>
15. Sukhareno M.A., Garkushin I.K., Osipov V.T. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2021. V. 66. № 2. P. 1527. <https://doi.org/10.1134/S0036023621100181>
16. Fedorov P.P. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2021. V. 66. № 2. P. 245. <https://doi.org/10.1134/S0036023621020078>
17. Elokhov A.M., Kudryashova O.S., Lesnov A.E. // *Russ. J. Phys. Chem. A*. 2019. V. 93. № 9. P. 1822. <https://doi.org/10.1134/S003602441909005X>
18. Kistanova N.S., Mukminov A.R., Koneva I.N. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2021. V. 66. № 11. P. 1736. <https://doi.org/10.1134/S0036023621110127>
19. Stankova A.V., Elokhov A.M., Lesnov A.E. et al. // *Russ. J. Inorg. Chem*. 2020. V. 65. № 12. P. 1922. <https://doi.org/10.1134/S0036023620120177>

20. *Elokhov A.M., Kudryashova O.S.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V.67. № 11. P. 1818.  
<https://doi.org/10.1134/s0036023622600903>
21. *Garkushin I.K., Burchakov A.V., Sukhareno M.A. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2020. V. 65. № 9. P. 1398.  
<https://doi.org/10.1134/S003602362009003X>
22. Термические константы веществ. Вып. X. Таблицы принятых значений: Li, Na / Под ред. Глушко В.П. М., 1981. 297 с.
23. *Гаркушин И.К., Сухаренко М.А., Бурчаков А.В. и др.* Моделирование и исследование фазовых равновесных состояний и химического взаимодействия в системах из молибдатов и вольфраматов  $s^1$ - и  $s^2$ -элементов. М.: Инновационное машиностроение, 2022. 352 с.
24. *Бурчаков А.В., Гаркушин И.К., Милов С.Н. и др.* // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60. № 10. С. 124.
25. *Мощенский Ю.В.* // Приборы и техника эксперимента. 2003. № 6. С. 143.
26. *Ковба Л.М.* Рентгенография в неорганической химии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 256 с.
27. *Космынин А.С., Трунин А.С.* Проекционно-термографический метод исследования гетерогенных равновесий в конденсированных многокомпонентных системах. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2006. 183 с.