

## О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу  
**Жумаева Маъруфжона Тагоймуротовича**  
на тему: «**Фазовые равновесия и растворимость  
в системе Na,Ca||SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °С**»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата химических  
наук по специальности 02.00.01 – неорганическая химия

Исследование сложных водно-солевых систем, установление закономерностей состояния фазовых равновесий и растворимости в них являются наиболее приоритетными направлениями современной неорганической химии. Как известно, многокомпонентные системы лежат в основе многих природных и технических объектов, поэтому результаты подобных, достаточно сложных исследований важны и необходимы для разработки оптимальных условий переработки природного и технического сырья. Диссертационная работа Жумаева М.Т. посвящена этой актуальной задаче, которая имеет научно-теоретическое и большое прикладное значение. Следует отметить высокую значимость работы для Таджикистана, где имеется большой запас природного полиминерального и сложного технического сырья, в виде жидких отходов производства алюминия, содержащих сульфаты, карбонаты, гидрокарбонаты натрия и кальция. Результаты исследований соискателя позволят также решить экологические проблемы, связанные с окружающей средой и использованием более дешевого вторичного сырья.

### *Новизна работы.*

- С использованием метода трансляции определены возможные фазовые равновесия в пятикомпонентной системе Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, составляющих её четырёхкомпонентных системах: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; CaSO<sub>4</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O; Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; Na,Ca//SO<sub>4</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O и Na,Ca//CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °С с последующим построением их замкнутых фазовых диаграмм.
- Построенные диаграммы фазовых равновесий фрагментированы по областям кристаллизации отдельных равновесных фаз (для четырёхкомпонентного уровня) и совместной кристаллизации двух фаз (для пятикомпонентного уровня).
- Изучена растворимость в системах: CaSO<sub>4</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> - Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> - NaHCO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O; Na, Ca // SO<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> - H<sub>2</sub>O;

Na,Ca//CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °С и на основании полученных данных впервые построены их диаграммы состояния.

*Диссертационная работа выполнена* согласно плану НИР кафедры общей и неорганической химии Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни «Определение фазовых равновесий в многокомпонентной системе из сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов, фторидов натрия и кальция» (№ ГР 0114ТJ00343).

*Личный вклад автора* состоит в анализе литературных данных, планировании и проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке, обобщении и анализе полученных результатов, формулировании выводов, подготовке и публикации научных статей, апробации на международных и республиканских конференциях.

*Диссертационная работа* Жумаева М.Т. представляет собой рукопись, изложенную на 141 страницах компьютерного набора, состоит из введения, 4-х глав и выводов, содержит 47 рисунков и 40 таблиц, список цитируемой литературы включает 102 наименования.

*В первой главе* рассмотрены основные направления исследования многокомпонентных систем методами физико-химического анализа, позволяющие установить взаимодействие между компонентами с последующим построением диаграмм состояния (растворимости, плавкости) или диаграмм фазовых равновесий. Отмечено, что системы, содержащие до четырёх компонентов, изображаются геометрическими фигурами реального пространства. При увеличении количества компонентов более четырёх системы усложняются, растёт число факторов, влияющих на состояние равновесия, геометрических образов (инвариантных точек, моновариантных кривых, дивариантных полей), что затрудняет использование реальных геометрических фигур для их изображения.

Показано, что с использованием в теории и практике физико-химического анализа принципа совместности, на основе которого разработан метод трансляции, появились новые возможности исследования фазовых равновесий в многокомпонентных системах. Согласно методу трансляции геометрические образы  $n$  компонентных систем, транслируясь на уровень  $(n+1)$  компонентного состава, трансформируются и, согласно законам топологии, с соблюдением правила фаз Гиббса, взаимно пересекаясь, образуют элементы строения системы на этом уровне компонентности.

Впервые исследована пятикомпонентная система Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O при 0 и 25 °С, которая включает следующие четырехкомпонентные: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; CaSO<sub>4</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O;

Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; Na,Ca//SO<sub>4</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O и Na,Ca//CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, а также трёхкомпонентные: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-CaSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-CaCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; CaSO<sub>4</sub>-CaCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; CaSO<sub>4</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O; CaCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O и NaHCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O системы. Представлены основные сведения о состоянии изученности пятикомпонентной системы Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, составляющих её четырёх- и трёхкомпонентных систем.

*Во второй главе* представлены данные о фазовых равновесиях, полученных методом трансляции при 0 °С для пятикомпонентной системы Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O, её четырёхкомпонентных системах: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; CaSO<sub>4</sub>-CaCO<sub>3</sub>-Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O; Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O; Na,Ca//SO<sub>4</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O и Na,Ca//CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O. На основании полученных результатов построена диаграмма фазовых равновесий системы Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O и составляющих её четырёхкомпонентных систем при 0 °С. Установлено, что для исследованной системы при 0 °С характерно наличие 4 нонвариантных точек, 13 моновариантных кривых, 15 дивариантных дивариантных полей. Построенные диаграммы пятикомпонентной системы и составляющих её четырёхкомпонентных систем фрагментированы по дивариантным полям.

*В третьей главе* представлены результаты, полученные методом трансляции для пятикомпонентной системы Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O и составляющих её четырёхкомпонентных систем при 25 °С. Установлено, что образование новых твердых фаз в составляющей трёхкомпонентной системе Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O (смешанная соль Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>·NaHCO<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O, известная под названием трона (Тр)) и в трёхкомпонентной системе Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-CaSO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O (CaSO<sub>4</sub>·Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, известная под названием глауберит (Гб)) способствуют появлению дополнительных геометрических образов.

На основании полученных результатов построена схематическая диаграмма фазовых равновесий пятикомпонентной системы Na,Ca//SO<sub>4</sub>,CO<sub>3</sub>,HCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O и составляющих её четырёхкомпонентных систем. Установлено что для исследуемой системы при 25 °С характерно наличие 22 дивариантных полей, 28 моновариантных кривых и 11 нонвариантных точек. Построенная диаграмма фрагментирована по дивариантным полям кристаллизации равновесных твердых фаз.

*В четвертой главе* диссертации показано, что прогнозирование фазовых равновесий в многокомпонентных системах методом трансляции значительно облегчает их экспериментальное исследование, экономится время и материалы. Предварительное прогнозирование фазовых равновесий

на геометрических образах, позволяет также установить возможные оптимальные условия (параметры) их реализации.

Кроме того, описана методика определения растворимости в невариантных точках, установленных методом трансляции, представлены экспериментальные данные исследования растворимости четырёхкомпонентных систем:  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na,Ca//CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при 0 и 25 °С. На основании полученных результатов впервые были построены их диаграммы растворимости.

Диссертационная работа **Жумаева М.Т.** соответствует паспорту специальности 02.00.01 – неорганическая химия, так как посвящена изучению химических превращений и свойств сложных пятикомпонентных систем, согласно п. 1-фундаментальные основы получения объектов исследования неорганической химии (2 глава работы, данные о фазовых равновесиях, полученных методом трансляции для пятикомпонентной системы  $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ , её четырёхкомпонентных систем:  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ;  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  и  $\text{Na,Ca//CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при 0 °С и глава 3 идентичные результаты, полученные для указанной системы при 25 °С), п. 4-реакционная способность неорганических соединений (глава 4 диссертации, экспериментальные данные исследования растворимости четырёхкомпонентных систем:  $\text{CaSO}_4\text{-CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na,Ca//SO}_4,\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na,Ca//CO}_3,\text{HCO}_3\text{-H}_2\text{O}$  при 0 и 25 °С, построенные диаграммы их растворимости, прогнозирование фазовых равновесий в изученных многокомпонентных системах облегчило их экспериментальное исследование, позволило установить возможные оптимальные условия (параметры) их реализации, сэкономить время и материалы), п. 5- взаимосвязь между составом и свойствами неорганических соединений (главы 1, 2, 3 и 4 диссертации, показано, что свойства всех неорганических соединений-компонентов изученных систем зависят от их состава).

При выполнении исследований соискателем сделан большой объем расчетных и экспериментальных работ. Результаты, полученные соискателем, являются новыми и завершенными, выводы сформулированы аргументировано. Основные положения диссертационной работы отражены в автореферате. Материалы диссертационной работы прошли очень большую апробацию, сделаны доклады на международных и республиканских конференциях, опубликовано 37 статей, в том числе 22 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ и 15 тезисов докладов. Все опубликованные

работы, действительно, отражают основное содержание диссертации. Работа написана хорошо, понятно, оформлена аккуратно.

При чтении диссертационной работы и автореферата возникли следующие замечания и пожелания.

1. В автореферате не приведены результаты рентгенофазовых исследований и кристаллооптических анализов четырехкомпонентных систем, которые доказывают достоверность полученных автором данных и подробно описаны в диссертации.
2. Диаграммы растворимости системы  $\text{CaSO}_4\text{--CaCO}_3\text{--Ca(HCO}_3)_2\text{--H}_2\text{O}$  представленные на рисунке 5 автореферата в виде двух изотерм (0 и 25 °С) должны состоять из равносторонних треугольников, которых не видно.
3. В диссертационной работе, автореферате желательно было бы дать достоверность полученных данных. Кроме того, встречаются грамматические и технические ошибки.

Перечисленные замечания несколько не снижают теоретическую и высокую практическую значимость выполненной работы. Диссертационная работа **Жумаева М.Т.** представляет собой завершённое научное исследование, а полученные результаты, без сомнения, достоверны.

По своему объёму, содержанию, актуальности и теоретической, а также практической значимости работа **Жумаева Маъруфжона Тагоймуротовича** отвечает критериям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.01- неорганическая химия.

Д.х.н., профессор кафедры физической  
и коллоидной химии Таджикского  
национального университета

Рахимова Мубаширхон

Подпись д.х.н., профессора кафедры физической и коллоидной химии  
химического факультета ТНУ Рахимовой Мубаширхон

заверяю:

Начальник управления кадров ТНУ

Тавкиев Эмомали

Адрес: 734025, г. Душанбе, пр. Рудаки, 7, химический факультет ТНУ,  
E-mail: [muboshira09@mail.ru](mailto:muboshira09@mail.ru); тел. (+992)918-76-90-70