

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2026, Том 18, № 2 / 2026, Vol. 18, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2026.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/62SAVN226.pdf>

DOI: 10.15862/62SAVN226 (<https://doi.org/10.15862/62SAVN226>)

2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Сычев, А. П. Оптические и электротехнические свойства и применение составов системы $\text{AgPO}_3\text{--MO}_3$ / А. П. Сычев, М. А. Савенкова, С. А. Воляник, А. И. Савенкова // Вестник евразийской науки. — 2026. — Т. 18. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/62SAVN226.pdf>. DOI: 10.15862/62SAVN226.

For citation:

Sychev A.P., Savenkova M.A., Volyanik S.A., Savenkova A.I. Optical and electrical properties and application of $\text{AgPO}_3\text{--MO}_3$ system compositions. *The Eurasian Scientific Journal*. 2026;18(2): 62SAVN226. Available at: <https://esj.today/PDF/62SAVN226.pdf>. DOI: 10.15862/62SAVN226. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 666.1

Сычев Александр Павлович

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук»,
Ростов-на-Дону, Россия
Ведущий научный сотрудник
Кандидат физико-математических наук, доцент
E-mail: alekc_sap@mail.ru

Савенкова Мария Андреевна

ФГБУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», Ростов-на-Дону, Россия
Доцент кафедры «Химия»
Кандидат химических наук, доцент
E-mail: him@rgups.ru

Воляник Светлана Алексеевна

ФГБУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», Ростов-на-Дону, Россия
Заведующий кафедрой «Химия», доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: him@rgups.ru

Савенкова Анна Игоревна

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Таганрог, Россия
Старший преподаватель кафедры «Техносферная безопасность и химия»
E-mail: annushka_koroleva@mail.ru

Оптические и электротехнические свойства и применение составов системы $\text{AgPO}_3\text{--MO}_3$

Аннотация. Одним из наиболее рациональных путей поиска новых соединений является изучение фазовых диаграмм состояния комплексом методов физико-химического анализа. Метод физико-химического анализа позволяет решать актуальные вопросы неорганической химии — разработку способов синтеза неорганических соединений, определять физические свойства веществ, число и виды фаз, образующихся в системах на основании диаграмм состав — свойство и, в частности, диаграмм плавкости.

Авторами представлено исследование диаграммы состояния системы полифосфат серебра-триоксид молибдена методами физико-химического анализа.

Установлено образование конгруэнтно плавящегося соединения с соотношением компонентов 1:1 и структурой аниона, отвечающего триметафосфату. Анионный состав полученного в системе соединения подтверждали одномерной восходящей бумажной хроматографией. В статье приведены результаты термогравиметрических, рентгенофазовых и спектрофотометрических исследований системы из полифосфата серебра и триоксида молибдена.

В ходе исследования авторами установлено, что практически значимым отличительным свойством фосфатных стекол является их относительно низкая гидролитическая устойчивость и контролируемая растворимость, что позволяет использовать эти стекла в качестве водорастворимой формы, обеспечивающей выход ионов на границе раздела фаз.

Стекло и стекломатериалы не только на основе силикатов, но и полифосфатов в настоящее время находят применение практически во всех сферах человеческой деятельности — промышленности, технике, строительстве, транспорте, а также в быту.

Для выделенного соединения определены оптические и электротехнические свойства. Обоснована возможность применения составов системы в качестве добавок к эмалям специального назначения.

Ключевые слова: бинарная система; полимерные фосфаты; триоксид молибдена; полифосфат серебра; анионная структура триметафосфата; диаграмма состояния; гидролитическая способность стекол; стеклоэмали

Введение

Одной из актуальных и важнейших проблем в области современных строительных технологий является поиск материалов, позволяющих оптимизировать строительные конструкции за счет возможного снижения агрессивного воздействия окружающей среды и повышения устойчивости покрытий, с этой целью проводится физико-химическое исследование бинарных систем, состоящих из оксидов и полифосфатов металлов. В связи с этим актуальным представляется вопрос о разработке добавок на основе полифосфатных систем, что позволит в дальнейшем оптимизировать физико-механические характеристики, антикоррозионные, декоративные и другие свойства строительных конструкций.

Стекло и стекломатериалы не только на основе силикатов, но и полифосфатов в настоящее время находят применение практически во всех сферах человеческой деятельности — промышленности, технике, строительстве, транспорте, а также в быту.

У фосфатных стекол, по сравнению с другими видами есть важная отличительная особенность — они достаточно устойчивы к гидролизу, и это позволяет отслеживать их растворимость на границе раздела фаз. Указанное свойство предполагает возможность использования фосфатных стекол в качестве водорастворимой формы, способствующей переносу различных ионов металлов в определенную среду (раствор, эмали), и эта особенность представляет как большой научный интерес, так и практическую значимость.

Добавки оксидов некоторых d — (Mo, W, V) и p — (Al, Sn, Pb) металлов к полифосфатам метафосфатного состава позволяют получить новые материалы — фосфатные стекла со специальными свойствами, керамику, а также электротехнические материалы (сегнето — и пьезоэлектрики). Например, триоксид молибдена MoO_3 используется в качестве синтетического топлива, как катализатор для селективного окисления, как компонент смазочных материалов в приборах для автоматического управления самолетов, морских судов, торпед, как указатель поворота в автопилотах, т. е. в гироскопах [1].

Уникальным свойством конденсированных (или полифосфатов) с большой степенью конденсации ($n \geq 50$) является способность встраивать в анионную структуру тетраэдрические фрагменты, содержащие в своем составе как р- так и d-элементы: SiO_4 , MoO_4 , WO_4 и др. Лабильность строения проявляется в способности анионов изменять свои конформации, степень полимеризации, общую конфигурацию в виде цепочек, циклов или их сочетаний.¹ Такая способность сопровождается образованием огромного класса гетерополифосфатов [2].

Одним из наиболее рациональных путей поиска новых соединений является изучение фазовых диаграмм состояния комплексом методов физико-химического анализа. Метод физико-химического анализа позволяет решать актуальные вопросы неорганической химии — разработку способов синтеза неорганических соединений, определять физические свойства веществ, число и виды фаз, образующихся в системах на основании диаграмм состав — свойство и, в частности, диаграмм плавкости.

Материалы и методы исследования

В данной работе приведены результаты термогравиметрических, рентгенофазовых и спектрофотометрических исследований системы из полифосфата серебра и триоксида молибдена.

Термогравиметрические измерения проводили на приборе синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 Jupiter со скоростью 1 град/мин в воздушной атмосфере. Диапазон измерений составляет от 20 до 900°C. Для анализа образцов с массой навесок 5,0 мг использовали платиновые тигли. Фиксация кривых нагревания составов выполнялась с точностью $\pm 2^\circ\text{C}$.

Рентгенограммы составов системы снимали с помощью прибора ДРОН — 3 в камере, снабженной медным анодом диаметром 50,0 мм и никелевым фильтром. Штрихрентгенограммы строились в соответствии с координатами — межплоскостными расстояния ($d, \text{\AA}$), которые определяли по справочному источнику и выверяли по длине рисунка.² Относительную интенсивность линий ($J, \%$) определяли по стобалльной шкале и фиксировали по высоте.

Инфракрасные спектры поглощения составов системы получали на приборе Specord 75 JR с использованием диапазона частот колебаний 400–1600 cm^{-1} . В полученных инфракрасных спектрах точность идентификации широких полос составляла ± 3 мм, узких полос ± 1 мм.

Анионный состав полученного в системе соединения подтверждали одномерной восходящей бумажной хроматографией [3].

Для определения оптических свойств — измерения показателя преломления выделенного соединения использовали иммерсионный метод на поляризационном микроскопе МП-6. Измерения проводились двумя методами:

- оба показателя n_g и n_p измеряли в ориентированных кристаллах при 25°C , с применением стандартных наборов жидкостей;

- для достоверности оба показателя преломления проверяли статистическим методом, путем подсчета в обоих случаях около ста минеральных зерен.

¹ Химическая энциклопедия: В: т. 3: — М.: Большая Российская энциклопедия, 1992. — 639 с. ISBN 5-85270-039-8 (т. 3) — URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_rc_545519/ (дата обращения: 03.04.2026).

² ASTM Diffraction Data Carsand Alphabetical and Gronped Numerical Index of X-Ray Diffraction Data. From the American Society for Materials Research. Philadelphia, 1969. — URL: https://www.researchgate.net/publication/258689229_The_history_of_the_International_Centre_for_Diffraction_Data (дата обращения 09.04.2026).

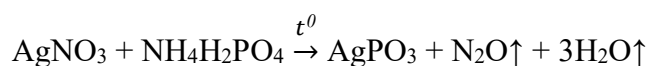
По разности показателей преломления $n_g - n_p$ вычисляли величину двулучепреломления.

Для определения гидrolитической устойчивости стекол применяли метод растривания в порошок с последующим кипячением, взвешиванием образцов.

Для определения выхода ионов серебра в раствор из стекла можно использовать потенциометрический метод анализа: стеклянный электрод в сочетании с хлорсеребряным электродом сравнения, или серебряселективный электрод, а также дифференциально-фотометрический метод.

Результаты исследования

Полифосфат серебра $[\text{AgPO}_3]_n$ синтезировали при сплавлении нитрата серебра марки «ч.д.а» с дигидрофосфатом аммония квалификации «х.ч.» в стехиометрическом соотношении 1:1 [4]:



При быстром охлаждении продукт синтеза — абсолютно прозрачное бесцветное стекло. Кристаллы AgPO_3 также прозрачны и бесцветны.

По данным термогравиметрии полифосфат серебра плавится конгруэнтно при 490°C , фазовых превращений не зарегистрировано. Установлено, что AgPO_3 — полифосфат с четырьмя тетраэдрами PO_4 в периоде идентичности.

Триоксид молибдена MoO_3 марки «ч.д.а» — бесцветный с зеленоватым оттенком порошок. Температура плавления 801°C , однако при температуре 630°C и выше на дериватограмме обнаружено начало потери массы. Это явление зафиксировано после второй эвтектики E_2 , расположенной при 31 мол. % AgPO_3 и 600°C .

Проведенные термогравиметрические, рентгенофазовые и спектрофотометрические исследования позволили установить, что образование нового соединения происходит при соотношении компонентов 1:1, т. е. на 50 мол% MoO_3 . Соединение плавится конгруэнтно при 652°C .

Соединение с полифосфатом серебра образует эвтектику E_1 , которая содержит 91 мол% AgPO_3 и плавится при 449°C (рис. 1).

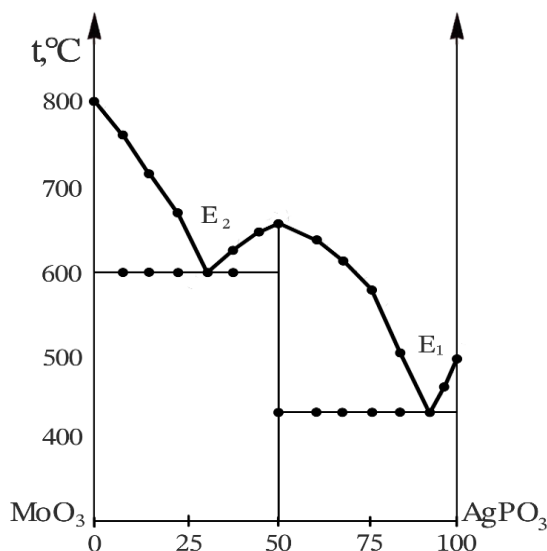


Рисунок 1. Диаграмма состояния системы $\text{AgPO}_3\text{--MoO}_3$ (предоставлено авторами)

Дериватограммы сплавов во всем интервале концентраций свидетельствуют об устойчивости смесей системы как в твердом состоянии, так и при плавлении.

Все составы системы являются прозрачными, относительно легко кристаллизующимися расплавами.

Образующееся соединение в кристаллическом состоянии имеет следующие показатели преломления, представленные в таблице 1:

Таблица 1

Показатели преломления

n_g	n_p	$n_g - n_p$	плотность, г/см ³
1,648	1,656	0,008	3,722

Составлено авторами

По данным ИК спектроскопии спектр поглощения соединения близок к спектру триметафосфата [5].

На это сходство указывает ослабление интенсивности полос в области 645–428 см⁻¹ связей δ_{PO_2} и на снижение частот колебаний групп ν_{PO_2} (1160–1152 см⁻¹), а также ν_{POP} в интервале частот 1105–1060 см⁻¹ — асимметричные колебания.³

При изучении оптических свойств нового соединения на электронном микроскопе TESLA BS-500 методом одноступенчатых реплик сколов образца выяснено, что они имеют тетраэдрическую форму.

Наиболее интенсивными линиями на рентгенограмме соединения являются группы линий 4,80 (100 %); 4,40 (50 %); 4,25 (45 %); 2,92 (55 %), не проявляющиеся у исходных компонентов.

Как указано выше, из-за незначительной нестехиометричности составов в области от 39 до 5 % $AgPO_3$ данные материалы при 20°C проявляют полупроводниковые свойства в области значений 10^{12} – 10^{10} Ом⁻¹·см⁻¹ [9; 10], что может способствовать их практическому применению, например, в микроэлектронике, приборостроении и в некоторых областях строительства [6].

Способность стекол к гидролизу устанавливали по потерям массы порошка стекла в результате кипячения, а также по диффузии в раствор содержащихся в стекле фосфат-ионов и катионов серебра. Потери массы определяли по взвешиванию образцов до и после кипячения [6]. Для определения выхода ионов серебра в раствор из стекла использовали халькогенидный стеклянный серебряселективный электрод ХС-Ag-001 при измерении потенциала электрода в стандартном и исследуемом растворе, выход фосфат-ионов определяли методом дифференциальной фотометрии [7; 8].

Для измельчения образцов стекол использовали в фарфоровые ступки, (с отбором фракций по размеру зерен не более 0,8 мм). После чего отобранную навеску (1 г стеклянного порошка) кипятили в 100 мл дистиллированной воды в течение часа.

Для анализа брали образцы составов 25, 50 и 75 мол% $AgPO_3$.

Потери массы образцов 25 мол% $AgPO_3$ составляют от 5,5 до 3 масс %, 50 мол% $AgPO_3$ — от 2,8 до 1,6 масс %, 75 мол% $AgPO_3$ — от 1,5 до 0,6 масс %, и уменьшаются с увеличением содержания $AgPO_3$ в составе стекла.

³ Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 4: — М.: Большая Российская энциклопедия. — 1995. — 639 с. ISBN 5-85270-092-4 (т. 4) — URL: <https://bigenc.ru/b/khimicheskaja-entsiklopediia-v-927727> (дата обращения: 15.04.2026).

По мнению авторов, полученные результаты можно объяснить более четко выраженной способностью к гидролизу молибдатной составляющей системы, и повышением гидролитической устойчивости фосфатных стекол при увеличении концентрации ионов серебра при увеличении содержания AgPO_3 .

Особое внимание следует обратить на существенное снижение потерь массы в области составов с соотношением от 50 мол% AgPO_3 и происходящую затем стабилизацию значений данного параметра. По мнению авторов, это может быть обусловлено переходом структуры стекол от метафосфатной к триметафосфатной, что позволяет делать вывод о том, что серебро выполняет роль модификатора в структуре стекол подобного типа, что подтверждается рядом исследований [9].

Обсуждение

В результате выполненного исследования процесса гидролитической деградации образцов системы на основе оксида молибдена (VI) и метафосфата серебра в водных средах можно сделать вывод, что увеличение соотношения $\text{AgPO}_3/\text{MoO}_3$ в их составе способствует стабилизации и повышению гидролитической устойчивости данных стекол по отношению к водной среде. Невысокая гидролитическая устойчивость образцов системы в области невысокого содержания AgPO_3 и дальнейшее улучшение данного показателя позволяют делать вывод о том, что серебро модифицирует структуру фосфатных стекол, и оказывает влияние на их физико-химические характеристики, что также подтверждено исследованием медьсодержащих систем [10; 11]. Также было выявлено, что в отношении данных стекол действует известная по литературным данным закономерность — наличие в их составе оксидов металлов, в частности, оксида молибдена (VI) повышает в целом их химическую стабильность.

В настоящее время в ряде работ разработаны основы и предложены интересные и практически значимые технологии создания защитных покрытий на металлических конструкциях [12; 13]. Большинство эмалевых покрытий хорошо проявили себя в условиях механических воздействий (трение, изгиб). При создании антикоррозионных покрытий важную роль играют химический состав стекла, качество и адгезионная способность покрытия, характер воздействия агрессивной среды на изделие с эмалью, а также такие физико-технические свойства покрытия как упругость, прочность на сжатие и растяжение [14].

По результатам анализа литературных источников можно прийти к заключению, что устойчивость защитных покрытий стеклоэмалью к агрессивным воздействиям различных типов среды соизмерима с устойчивостью покрытий другого химического состава, что немаловажно для нашего исследования.

Выводы

Учитывая рассмотренные в исследовании оптические и электротехнические свойства полученных образцов системы, а также их относительно невысокую гидролитическую способность, предлагается использование данных образцов в качестве модифицирующих добавок к стеклоэмальям.

В заключение следует отметить, что авторами предполагается дальнейшее исследование полученных составов системы с целью определения других физико-технических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ван-Везер, Д. Фосфор и его соединения Д. Ван-Везер. — Москва: Мир, 2009. — 780 с. ISBN 978-5-458-45624-1. — URL: <https://djvu.online/file/OEEUPonkO2uQn> (дата обращения: 02.04.2026).

2. Сычев, А. П. Применение хроматографического анализа в исследованиях фосфорсодержащих присадок, добавляемых в смазочные материалы / А. П. Сычев, М. А. Савенкова, Д. А. Королев и др. // Вестник машиностроения. — 2025. — Т. 104. — № 9. — С. 771–774. — DOI: 10.36652/0042-4633-2025-104-9-771-774. (дата обращения: 29.03.2026).
3. Колесников, В. И. Принципы создания смазочных материалов с нанокластерными добавками для тяжело нагруженных трибосопряжений / В. И. Колесников, Ф. Даниэль, Н. А. Мясникова, М. А. Савенкова // Вестник РГУПС. — 2009. — № 4. — С. 12–15. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12363266> (дата обращения: 05.04.2026).
4. Механизм смазочного действия присадок полифосфатов и гетерополифосфатов в трибосистемах. В. И. Колесников, Ю. Ф. Мигаль, М. А. Савенкова [и др.] // Журнал прикладной химии. — 2017. — № 5. — С. 609–619 — ISSN 0044-4618. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29429592> (дата обращения: 25.04.2026).
5. Свойства смазочных материалов ПУМА и БУКСОЛ, модифицированных неорганическими присадками двойных полифосфатов / В. И. Колесников, М. А. Савенкова, В. В. Авилов [и др.] // Трение и износ. — 2015. — Т. 36. — № 3. — С. 273–281. — DOI 10.3103/S1068366615030071 (дата обращения 25.04.2026).
6. Челохьян, А. В. Исследование железнодорожных пластичных смазок с присадками на основе полифосфатов / А. В. Челохьян, М. А. Савенкова, Е. А. Булавина // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. Машиностроение. — 2006. — № 2 — С. 59–61. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-zheleznodorozhnyh-plastichnyh-smazok-s-prisadkami-na-osnove-polifosfatov> (дата обращения: 11.04.2026).
7. Кузьменков, М. И. Химия и технология метафосфатов / М. И. Кузьменков, В. В. Печковский, С. В. Плышевский. — Минск: Университетское, 1985. — 191 с. — URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_001253775/ (дата обращения: 18.04.2026).
8. Физико-химическое взаимодействие полифосфата свинца и оксида вольфрама (VI). М. А. Савенкова, А. И. Савенкова, А. П. Сычев, С. А. Воляник // Сборка в машиностроении, приборостроении. — 2025/11. — С. 511–515 — DOI: 10.36652/0202-3350-2025-26-11-511-515. — URL: <https://www.ssc-ras.ru/publishing/article-482432/> (дата обращения: 11.04.2026).
9. Савенкова, М. А. Тетраметафосфат магния-марганца — многофункциональная присадка к пластичным смазкам / М. А. Савенкова, А. И. Савенкова, С. А. Воляник, В. В. Авилов // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/68SAVN424.pdf> (дата обращения: 21.04.2026).
10. Химическая стойкость медьсодержащих фосфатных стекол. Д. А. Затвардницкий, Н. Ю. Михайленко, Н. Н. Клименко, Е. А. Рязанцева // Успехи в химии и химической технологии. — Том XXII. — 2008. — № 7(87). — С. 80–83. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskaya-stoykost-medsoderzhaschih-fosfatnyh-stekol> (дата обращения: 20.04.2026).
11. Исследование структурных и оптических особенностей литий-фосфатных стекол. П. К. Ольшин, А. А. Киреев, А. В. Поволоцкий, А. А. Маньшина, И. А. Соколов. // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 5. — URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14767> (дата обращения: 25.04.2026).

12. Чакветадзе, Д. К. Легкоплавкие стеклокомпозиции для вакуумноплотного низкотемпературного спаивания изделий в широком интервале значений ТКЛР / Д. К. Чакветадзе, Ю. А. Спиридонов, К. В. Наумова, В. Н. Сигаев, // Успехи в химии и химической технологии. — 2015. — № 7. — Т. 29. — С. 84–86 — URL: <https://istina.cemi-ras.ru/publications/article/284586153/> (дата обращения: 02.04.2006).
13. Фосфатные стекла для припоечных композиций. Э. М. Шакирова, Д. К. Чакветадзе, Ю. А. Спиридонов, В. Н. Сигаев // Успехи в химии и химической технологии. — ТОМ XXX. — 2016. — № 7. — С. 127–129. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fosfatnye-stekla-dlya-pripoechnyh-kompozitsiy?ysclid=mqqt3j8dmh370415018> (дата обращения: 02.04.2006).
14. Разработка актуально-перспективных защитных покрытий в системе «стекло — металл» / В. И. Большаков, Ю. Л. Савин, А. П. Приходько, Л. С. Савин, Т. Н. Дубов, и др. / Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. — Днепропетровск: ПДАБА. — 2009. — № 5 — С. 4–10. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-aktualno-perspektivnyh-zaschitnyh-pokrytiy-v-sisteme-steklo-metall> (дата обращения: 07.04.2006).

Sychev Alexander Pavlovich

Federal Research Centre the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: alekc_sap@mail.ru

Savenkova Mariya Andreevna

Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: him@rgups.ru

Volyanik Svetlana Alekseevna

Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: him@rgups.ru

Savenkova Anna Igorevna

Southern Federal University, Taganrog, Russia
E-mail: annushka_koroleva@mail.ru

Optical and electrical properties and application of $\text{AgPO}_3\text{--MO}_3$ system compositions

Abstract. One of the most rational ways to search for new compounds is to study phase diagrams using a set of physical and chemical analysis methods. The physical and chemical analysis method allows us to solve the current issues of inorganic chemistry, such as developing methods for the synthesis of inorganic compounds, determining the physical properties of substances, and identifying the number and types of phases formed in systems based on composition-property diagrams and, in particular, melting diagrams.

The authors present a study of the state diagram of the silver polyphosphate-molybdenum trioxide system using physical and chemical analysis methods. The formation of a congruently melting compound with a 1:1 ratio of components and an anion structure corresponding to trimetaphosphate was established. The anion composition of the compound obtained in the system was confirmed by one-dimensional ascending paper chromatography. The article presents the results of thermogravimetric, X-ray phase, and spectrophotometric studies of the system consisting of silver polyphosphate and molybdenum trioxide.

In the course of the study, the authors found that a practically significant distinguishing feature of phosphate glasses is their relatively low hydrolytic stability and controlled solubility, which allows these glasses to be used as a water-soluble form that provides ion release at the interface.

Glass and glass materials based not only on silicates, but also on polyphosphates, are currently used in almost all areas of human activity, including industry, engineering, construction, transportation, and everyday life.

Optical and electrical properties have been determined for the selected compound. The possibility of using the system compositions as additives to special-purpose enamels has been substantiated.

Keywords: binary system; polymeric phosphates; molybdenum trioxide; silver polyphosphate; anionic structure of trimetaphosphate; state diagram; hydrolytic capacity of glasses; glass enamels